

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Cristina Otsuschi

**ALTERAÇÕES NA VEGETAÇÃO FLORESTAL NATIVA NAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DOS LAJEADOS SÃO JOSÉ E PASSO DOS  
ÍNDIOS – OESTE DE SANTA CATARINA: EFEITOS HIDROLÓGICOS  
E NA PERDA DE SOLOS ENTRE 1989 E 2015**

**Santa Maria, RS  
2017**





**Cristina Otsuschi**

**ALTERAÇÕES NA VEGETAÇÃO FLORESTAL NATIVA NAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DOS LAJEADOS SÃO JOSÉ E PASSO DOS ÍNDIOS – OESTE  
DE SANTA CATARINA: EFEITOS HIDROLÓGICOS E NA PERDA DE SOLOS  
ENTRE 1989 E 2015**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, na área de concentração de Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Geografia**.

**Orientador: prof. Dr. Bernardo Sayão Penna e Souza**  
**Coorientador: prof. Dr. Waterloo Pereira Filho.**

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Otsuschi, Cristina

ALTERAÇÕES NA VEGETAÇÃO FLORESTAL NATIVA NAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DOS LAJEADOS SÃO JOSÉ E PASSO DOS ÍNDIOS -  
OESTE DE SANTA CATARINA: EFEITOS HIDROLÓGICOS E NA PERDA  
DE SOLOS ENTRE 1989 E 2015 / Cristina Otsuschi.- 2017.  
220 p.; 30 cm

Orientador: Bernardo Sayão Penna e Souza

Coorientador: Waterloo Pereira Filho

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2017

1. Funções ambientais 2. Cenários ambientais 3.  
Planejamento ambiental 4. SWAT 5. Chapecó I. Penna e  
Souza, Bernardo Sayão II. Pereira Filho, Waterloo III.  
Título.

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Cristina Otsuschi. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Universidade Federal de Santa Maria, Cidade Universitária, "Prof. Mariano da Rocha Filho", Av. Roraima, 1000, Prédio 17, Sala 1132, Bairro Camobi, CEP: 97105-900,  
End. Eletr.: cristinaotsuschi@yahoo.com.br

Cristina Otsuschi

**ALTERAÇÕES NA VEGETAÇÃO FLORESTAL NATIVA NAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DOS LAJEADOS SÃO JOSÉ E PASSO DOS ÍNDIOS – OESTE  
DE SANTA CATARINA: EFEITOS HIDROLÓGICOS E NA PERDA DE SOLOS  
ENTRE 1989 E 2015**

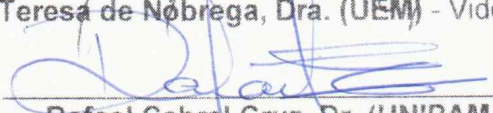
Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, na área de concentração de Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Geografia**.

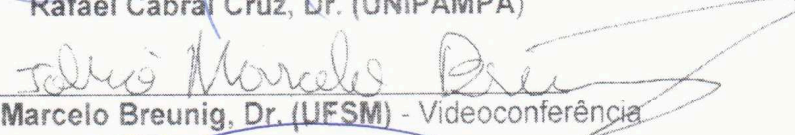
Aprovado em 30 de agosto de 2017:

  
Bernardo Sayão Penna e Souza, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

  
Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)  
(Coorientador)

  
Maria Teresa de Nóbrega, Dra. (UEM) - Videoconferência

  
Rafael Cabral Cruz, Dr. (UNIPAMPA)

  
Fábio Marcelo Breunig, Dr. (UFSM) - Videoconferência

  
Romário Trentin, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS  
2017



## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, em especial, à minha avó Masae Kotaka (*in memmorian*).



## **AGRADECIMENTOS**

À minha família que sempre me apoiou e compreendeu os momentos de ausência, especialmente Diana, Julia, Letícia, Lucas, Tiago, Astê e Melo.

- À Filomena Kotaka e Tie Kotaka pelo apoio e auxílio em vários momentos durante a pesquisa.

- Ao prof. Bernardo Sayão Penna e Souza, que se disponibilizou a compartilhar seu conhecimento com paciência e respeito.

- Ao prof. Waterloo Pereira Filho pelo apoio e contribuições.

- Ao Luís Garbossa, Éverton Blainski, Fernando Grisson e Vander Kaufmann pelas informações sobre o uso de modelagem em bacias hidrográficas.

- Aos amigos Adiles Savoldi, Emerson Galvani, Gisele Leite de Lima, Rosa Salete Alba, Vitor Luiz Scartazzini e William Zanete pela troca de ideias, incentivo e amizade.

- Aos colegas e amigos que conheci no doutorado, em especial Franciele Francisca Marmentini Rovani, João Batista Villas Boas Simoncini, Luciane Bitencourt, Vinícius Duarte Guareschi e Anderson Augusto Volpatto Scotti.

- Aos amigos Wagner Barbosa Batella, Marcia Regina Calegari, Marga Eliz Pontelli, Igor Catalão, Cristiane Sawada e André Streit Junges que de alguma forma contribuíram nesse processo.

- Aos professores André W. Borba, Mauro Werlang, Maria Teresa de Nóbrega, Romário Trentin, Rafael Cabral Cruz e Adriano Figueiró pelas contribuições.

- À Universidade Federal da Fronteira Sul por conceder o afastamento para terminar a tese.

- Ao Leandro Bassi por disponibilizar os dados de concentração de sedimentos em suspensão, vazão e nível do rio.

- Ao Leandro Wildner, Sueli Terezini, Francisco Schwinski e Ivan Tadeu Baldissera da Epagri de Chapecó, e à Cliciana Bertoldi, da Epagri de Cordilheira Alta.

- À Terezinha Zandavalli Lima, Ernesto José Cavallet, Priscila Fernanda Rech Confortin, Gilson Pagliosa e Valdir Crestani da Secretaria de Desenvolvimento Rural

e Meio Ambiente. Ao Tiago Nurnberg dos Santos e Osmar Sessí da Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Prefeitura Municipal de Chapecó.

- À Sandra Cristina Deodoro pelas contribuições e troca de informações para a elaboração dos mapas temáticos.

- À Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina – SDS - e ao Centro de Memória do Oeste de Santa Catarina – CEOM - pela disponibilidade de informações e materiais.



## EPÍGRAFE

“Uma grande descoberta resolve um grande problema, mas há sempre uma pitada de descoberta na resolução de qualquer problema. O problema pode ser modesto, mas se ele desafiar a curiosidade e puser em jogo as faculdades inventivas, quem o resolver pelos seus próprios meios experimentará a tensão e gozará o triunfo da descoberta”.  
George Polya



## RESUMO

### ALTERAÇÕES NA VEGETAÇÃO FLORESTAL NATIVA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS LAJEADOS SÃO JOSÉ E PASSO DOS ÍNDIOS – OESTE DE SANTA CATARINA: EFEITOS HIDROLÓGICOS E NA PERDA DE SOLOS ENTRE 1989 E 2015

**AUTORA:** Cristina Otsuschi

**ORIENTADOR:** Bernardo Sayão Penna e Souza

**COORIENTADOR:** Waterloo Pereira Filho

A pesquisa trata sobre a relação entre vegetação florestal nativa remanescente e funções ambientais em bacias hidrográficas. As funções ambientais escolhidas para esta pesquisa são: vazão, perda de solo e escoamento superficial. Considerando o crescimento populacional e a expansão urbana em Chapecó, é importante ter um planejamento ambiental para não comprometer as funções ambientais da vegetação nativa remanescente e desencadear problemas ambientais, como desmatamento, erosão e inundações. Para compreender os efeitos da fragmentação e a redução da vegetação nativa remanescente nas funções ambientais mencionadas, foram comparadas as bacias hidrográficas dos lajeados São José e Passo dos Índios, localizadas no oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil. O lajeado São José é um curso d'água intermunicipal, tendo suas nascentes nos municípios de Chapecó e Cordilheira Alta, enquanto o lajeado Passo dos Índios tem suas nascentes no município de Chapecó. A bacia do lajeado São José caracteriza-se por ter áreas com mais fragmentos da vegetação remanescente, ter muitas propriedades rurais e por ter a captação de água desta cidade nesta bacia hidrográfica. A bacia do lajeado Passo dos Índios pode ser considerada uma bacia urbanizada, tendo vários trechos dos cursos d'água canalizados. Para conhecer o processo de fragmentação da vegetação nativa remanescente de 1989 a 2015 foram elaborados mapas: a) de uso da terra de 1989, 1996, 2010 e 2015; b) 2015 simulando as Áreas de Preservação Permanente (APPs) conforme as leis ambientais; c) 2015 simulando a substituição de fragmentos de remanescentes por áreas de cultivo; e d) 2015 simulando a substituição de fragmentos de remanescentes por áreas edificadas. Para compreender os efeitos da fragmentação da vegetação no escoamento superficial, na vazão e na perda de solo conforme o uso da terra nos diferentes anos e verificar a possibilidade do uso de cenários, para o planejamento ambiental na área de estudo, foi utilizado o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool - SWAT*. Para a simulação de cenários foram considerados os dados climáticos de 1985 a 2015; os dados de vazão, de nível do rio e os mapas de uso da terra, de tipos de solo e o Modelo Digital de Elevação. Para saber qual é a influência da vegetação nativa remanescente (uso da terra) para reduzir a vazão, o escoamento superficial e a perda de solo, optou-se em fazer uma média da precipitação de 1989 a 2015, e a média da vazão, do escoamento superficial e da perda de solo, tendo o uso da terra como variável. A área de estudo foi dividida em 40 sub-bacias para efeitos de comparação. As sub-bacias com menor escoamento superficial, perda de solo e vazão foram as que tinham mais vegetação nativa remanescente. As sub-bacias do lajeado São José seriam mais vulneráveis para perda de solo e vazão, enquanto as sub-bacias do lajeado Passo dos Índios teriam maiores taxas de escoamento superficial. A simulação de APPs evidenciou a necessidade de alternativas para ampliar as áreas com vegetação, reduzindo problemas ambientais como inundações, assoreamentos e erosão.

**Palavras-chave:** Funções ambientais. Cenários ambientais. Planejamento ambiental. SWAT. Chapecó.



## ABSTRACT

### CHANGES IN NATIVE FOREST VEGETATION IN THE WATERSHEDS OF SLABS 'SÃO JOSÉ' AND 'PASSO DOS ÍNDIOS' - WEST OF 'SANTA CATARINA' STATE: HYDROLOGICAL AND SOIL LOSS EFFECTS BETWEEN 1989 AND 2015

**AUTHOR: Cristina Otsuschi**

**Advisor: Bernardo Sayão Penna e Souza**

**CoAdvisor: Waterloo Pereira Filho**

The research deals with the relation between remaining native forest vegetation and environmental functions in watersheds. The environmental functions chosen for this research are: flow rate, soil loss and surface runoff. Considering the population growth and urban expansion in 'Chapecó', it is important to have environmental planning in order to avoid compromising the environmental functions of the remaining native vegetation and also not to trigger environmental problems, such as deforestation, erosion and floods. In order to understand the effects of fragmentation and reduction of remaining native vegetation on the mentioned environmental functions, watersheds from slabs 'São José' and 'Passo dos Índios', located in the west region of Santa Catarina's state, Brazil, were compared. 'São José' watershed is an intermunicipal waterway, having its headsprings in the municipalities of 'Chapecó' and 'Cordilheira Alta', while the slab of 'Passo dos Índios' has its headsprings in the municipality of 'Chapecó'. 'São José' slab watershed is characterized by having areas with more fragments of remaining vegetation, many rural properties and being the watershed responsible for the city's water supply. 'Passo dos Índios' slab watershed can be considered urbanized, with several stretches of water courses channeled. In order to know the remaining native vegetation fragmentation process in the period from 1989 to 2015, the following maps were elaborated: a) land use in the years 1989, 1996, 2010 and 2015; b) 2015 simulation of the Permanent Preservation Areas (PPAs) according to the environmental laws; c) 2015 simulation of the replacement of remaining fragments by crop areas; and d) 2015 simulation of the replacement of remaining fragments by built-up areas. In order to understand the effects of vegetation fragmentation on the flow rates, soil loss and surface runoff, according to land use in different years and verify the possibility of using scenarios, for the environmental planning in the study area, the *Soil and Water Assessment Tool - SWAT* was used. For the simulation of scenarios the elements considered were: climatic data from 1985 to 2015; flow rates and river-level data, land-use maps, soil types map and the Digital Elevation Model. In order to learn the influence of the remaining native vegetation (land use) on the flow rate, surface runoff and soil loss reduction, it was decided to use the average rainfall from 1989 to 2015, and the average flow rate and soil loss, considering land use a variable. The study area was divided into 40 sub-basins for comparison purposes. The sub-basins with the lowest flow rates, soil loss and surface runoff were the ones that had the highest rates of remaining native vegetation. The sub-basins of 'São José' slab would be more vulnerable to flow rates and soil loss, while the sub-basins of 'Passo dos Índios' slab would have higher surface runoff rates. The PPA simulation highlighted the need for alternatives to increase areas with vegetation, reducing environmental problems such as floodings, rivers silting and erosion.

**Keywords:** Environmental functions. Environmental scenarios. Environmental planning. SWAT. Chapecó.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização geográfica da área de estudo.....	30
Figura 2 -	Relação entre crescimento populacional e impermeabilização com a urbanização.....	35
Figura 3 -	Intervenção antrópica no ciclo hidrológico.....	47
Figura 4 -	Distribuição de pesquisas que utilizaram o modelo SWAT entre 1999 e 2013 no Brasil.....	54
Figura 5 -	Etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa.....	60
Figura 6 -	Locais de coleta de amostras de sedimentos e das estações fluviométrica e meteorológica.....	62
Figura 7 -	Etapas e “procedimentos para geração da base de dados e simulações no modelo SWAT via SIG” .....	67
Figura 8 -	Divisão em sub-bacias e HRU. (a) Sobreposição de mapas temáticos resultando (b) no mapa de sub-bacias ou em Unidades de Resposta Hidrológica.....	68
Figura 9 -	Fluxograma esquemático da organização do SWAT.....	70
Figura 10 -	Comparação entre simulação inicial do SWAT e vazão medida na seção de controle.....	81
Figura 11 -	Comparação entre vazão simulada e a medida na seção de controle.....	81
Figura 12 -	Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo.....	82
Figura 13 -	Comparação entre simulação calibrada do SWAT e vazão medida na seção de controle.....	84
Figura 14 -	Comparação entre vazão simulada e medida na seção de controle.....	84
Figura 15 -	Comparação entre simulação calibrada do SWAT e vazão medida na seção de controle no período de validação.....	85
Figura 16 -	Comparação entre vazão simulada e medida na seção de controle.....	86
Figura 17 -	Comparação entre o volume de sedimentos transportados diariamente na seção controle para o ano de 1988 .....	87
Figura 18 -	Comparação entre o volume de sedimentos transportados diariamente na seção controle em 1989.....	88
Figura 19 -	Principais tipos de rocha na área de estudo.....	93
Figura 20 -	Tipos de solo nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios .....	95
Figura 21 -	Hipsometria das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios .....	96
Figura 22 -	Declividades nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios .....	99
Figura 23 -	Vista parcial da margem direita do lajeado Passo dos Índios após as primeiras cascatas .....	101
Figura 24 -	Principais cursos d’água nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios .....	103
Figura 25 -	Vista parcial da encosta com pouca vegetação remanescente em Chapecó na década de 1950 .....	104

Figura 26 - Construção de usina hidrelétrica no lajeado Passo dos Índios	104
Figura 27 - Tubulação da usina hidrelétrica construída no lajeado São José .....	105
Figura 28 - Evolução da ocupação urbana entre 1957 e 2009 em Chapecó	106
Figura 29 - Floresta Ombrófila Mista sendo substituída por construções em Chapecó em 1930 .....	109
Figura 30 - Planejamento da Vila Passo dos Índios na década de 1930 atual Chapecó .....	112
Figura 31 - Localização das agroindústrias em Chapecó e distribuição da população por extremos de renda em 2000 .....	114
Figura 32 - Município de Cordilheira Alta em 1992 .....	117
Figura 33 - Desmatamento e ocupação às margens dos cursos d'água em Chapecó em 1932 .....	120
Figura 34 - Animais em áreas de nascentes e despejo de resíduos no afluente do lajeado São José .....	122
Figura 35 - Vista parcial da encosta no bairro Vila Rica .....	122
Figura 36 - Ocupação nas margens do lajeado São José .....	124
Figura 37 - Vista parcial da bacia do lajeado São José em Cordilheira Alta, com destaque aos fragmentos de vegetação .....	125
Figura 38 - Lajeado Passo dos Índios em 1932 .....	126
Figura 39 - Vista parcial da avenida Getúlio Vargas no centro de Chapecó em 1956 .....	126
Figura 40 - Inundação no lajeado Passo dos Índios no centro de Chapecó em 1963 e em 1975 .....	127
Figura 41 - Inundação em 1963 e a canalização do lajeado Passo dos Índios no Calçadão na década de 1970 .....	127
Figura 42 - Canalização no lajeado Passo dos Índios e seus afluentes ....	128
Figura 43 - Vista parcial do início do Calçadão no centro de Chapecó em 2013 .....	129
Figura 44 - Vista parcial da ocupação na margem direita com destaque ao despejo do esgoto residencial no lajeado Passo dos Índios .....	130
Figura 45 - Cascatas no lajeado Passo dos Índios .....	131
Figura 46 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1989 .....	133
Figura 47 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1996 .....	133
Figura 48 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2010 .....	133
Figura 49 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 .....	133
Figura 50 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando APP .....	141
Figura 51 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando Cultivo .....	141
Figura 52 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando Edificações .....	141
Figura 53 - Evolução dos fragmentos da mata nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 1989 e 2015 em hectares .....	145
Figura 54 - Localização das sub-bacias dos lajeados São José e Passo	



	dos Índios .....	146
Figura 55 -	Distribuição do uso da terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 1989 e 2015 .....	158
Figura 56 -	Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1989 .....	163
Figura 57 -	Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1996 .....	163
Figura 58 -	Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2010 .....	163
Figura 59 -	Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 .....	163
Figura 60 -	Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 APP .....	167
Figura 61 -	Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – Cultivo .....	167
Figura 62 -	Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – Edificações .....	167
Figura 63 -	Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1989 .....	175
Figura 64 -	Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1996 .....	175
Figura 65 -	Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2010 .....	175
Figura 66 -	Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 .....	175
Figura 67 -	Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 APP .....	181
Figura 68 -	Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – Cultivo .....	181
Figura 69 -	Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – Edificações .....	181
Figura 70 -	Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –1989 .....	187
Figura 71 -	Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –1996 .....	187
Figura 72 -	Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –2010 .....	187
Figura 73 -	Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –2015 .....	187
Figura 74 -	Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – APP .....	193
Figura 75 -	Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 –Cultivo .....	193
Figura 76 -	Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – Edificações .....	193



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Categorias de serviços ambientais e seus benefícios .....	40
Quadro 2 -	Características das cenas orbitais utilizadas .....	64
Quadro 3 -	Grupos hidrológicos de solo .....	73
Quadro 4 -	Parâmetros ajustados no modelo SWAT .....	83
Quadro 5 -	População em Cordilheira Alta entre 1996 e 2016 .....	119
Quadro 6 -	População residente em Chapecó entre 1980 e 2016 .....	120



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resumo da precipitação máxima diária registrada na estação meteorológica de Chapecó e as variáveis derivadas das conversões para obtenção da intensidade máxima de chuva em 30 minutos (EI30) .....	76
Tabela 2 -	Radiação solar média diária registrada na estação meteorológica de Chapecó entre 1985 e 2010.....	77
Tabela 3 -	Resumo das temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa registrados na estação meteorológica de Chapecó durante os anos de 1985 e 2015 .....	77
Tabela 4 -	Velocidade média do vento registrada na estação meteorológica de Chapecó entre 1985 e 2015 .....	78
Tabela 5 -	Resumo dos dados climáticos de Chapecó entre 1985 e 2015 inseridos na base de dados do SWAT .....	78
Tabela 6 -	Síntese dos loteamentos aprovados nos bairros que fazem parte das bacias dos lajeados São José e Passo dos Fortes entre 1997 e 2010 .....	138
Tabela 7	Evolução da mata nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 1989 e 2015 .....	147
Tabela 8 -	Evolução da mata nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 2015 e os usos simulados .....	149
Tabela 9 -	Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1989 .....	151
Tabela 10 -	Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1996 .....	152
Tabela 11 -	Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2010 .....	153
Tabela 12 -	Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 .....	154
Tabela 13 -	Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando Áreas de Preservação Permanente ....	155
Tabela 14 -	Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando ampliação de áreas de cultivo .....	156
Tabela 15 -	Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando ampliação de edificações e expansão urbana .....	157
Tabela 16 -	Escoamento superficial (mm) nos cenários reais e virtuais nas sub-bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios .....	172
Tabela 17 -	Vazão média (m <sup>3</sup> /s) entre 1989 e 2015 nas sub-bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios .....	184
Tabela 18 -	Perda de solo (T/ha/ano) entre 1989 e 2015 nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios.....	195



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA METODOLÓGICA.....</b>	<b>33</b>
3.1	URBANIZAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL .....	33
3.2	FUNÇÃO AMBIENTAL E REMANESCENTES FLORESTAIS .....	38
3.3	FRAGMENTAÇÃO DOS REMANESCENTES E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS .....	43
3.4	EFEITOS HIDROLÓGICOS .....	46
3.5	PERDA DE SOLO .....	49
3.5.1	Perda de solo em área urbana .....	51
3.6	O PLANEJAMENTO AMBIENTAL E OS MODELOS AMBIENTAIS...	52
3.7	CONTRIBUIÇÕES DO MODELO SWAT PARA O ESTUDO DE FUNÇÕES AMBIENTAIS.....	55
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>59</b>
4.1	ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	59
4.2	COLETA DE DADOS.....	61
4.2.1	<b>Dados climáticos.....</b>	<b>61</b>
4.2.2	<b>Dados vazão, nível e concentração de sedimentos .....</b>	<b>62</b>
4.2.3	<b>Trabalho de campo.....</b>	<b>63</b>
4.3	ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS.....	63
4.3.1	<b>Mapas de uso da terra .....</b>	<b>63</b>
4.3.2	<b>Mapa de tipos de solo .....</b>	<b>66</b>
4.3.3	<b>Mapas de declividades e hipsométrico .....</b>	<b>66</b>
4.4	O MODELO SWAT .....	67
4.5	A BASE DE DADOS.....	75
4.6	ETAPAS DA MODELAGEM.....	80
4.6.1	<b>Aquecimento do modelo.....</b>	<b>80</b>
4.6.2	<b>Calibração.....</b>	<b>82</b>
4.6.3	<b>Validação .....</b>	<b>85</b>
4.7	CENÁRIOS AMBIENTAIS.....	89
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>89</b>
5.1	CARACTERÍSTICAS FÍSIOGRÁFICAS .....	91
5.1.1	<b>Geologia.....</b>	<b>91</b>
5.1.2	<b>Solos.....</b>	<b>94</b>
5.1.3	<b>Geomorfologia.....</b>	<b>101</b>
5.1.4	<b>Hidrografia.....</b>	<b>103</b>
5.1.5	<b>Clima.....</b>	<b>107</b>
5.1.6	<b>Vegetação.....</b>	<b>109</b>
5.2	HISTÓRICO E PRINCIPAIS ATIVIDADES ECONÔMICAS DOS MUNICÍPIOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	112
5.2.1	<b>Chapecó.....</b>	<b>110</b>
5.2.2	<b>Cordilheira Alta.....</b>	<b>116</b>
<b>6</b>	<b>EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA E DA MATA NATIVA .....</b>	<b>119</b>
6.1	OCUPAÇÃO E HIDROGRAFIA.....	119
6.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DA TERRA NA ÁREA DE ESTUDO .....	121

6.2.1	Bacia do Lajeado São José .....	121
6.2.2	Bacia do Lajeado Passo dos Índios .....	125
6.3	USO DA TERRA .....	131
6.3.1	Uso da terra 1989.....	135
6.3.2	Uso da terra em 1996.....	136
6.3.3	Uso da terra em 2010.....	137
6.3.4	Uso da terra em 2015.....	139
6.3.5	Uso da terra em 2015 - APP.....	140
6.3.6	Uso da terra em 2015 - Cultivo.....	143
6.3.7	Uso da terra em 2015 - Edificações.....	143
6.3.8	Evolução da cobertura florestal e as sub-bacias.....	145
6.3.9	Comparação do uso da terra .....	150
7	<b>FUNÇÕES AMBIENTAIS E OS CENÁRIOS</b> .....	161
7.1	ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	161
7.1.1	Cenários reais.....	161
7.1.2	Cenários virtuais .....	166
7.2	VAZÃO MÉDIA ANUAL.....	174
7.2.1	Cenários reais .....	174
7.2.2	Cenários virtuais .....	179
7.3	PERDA DE SOLO .....	185
7.3.1	Cenários reais.....	185
7.3.2	Cenários virtuais .....	191
7.4	CENÁRIOS AMBIENTAIS E O PLANEJAMENTO AMBIENTAL.....	199
8	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	201
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	207



## 1 INTRODUÇÃO

O máximo aproveitamento da superfície visando ao conforto, como asfaltamento e construção de moradias, assim como para as atividades econômicas; substituindo áreas florestais, pode ter efeitos negativos ao ambiente. Isto porque a vegetação possui funções ambientais e o desmatamento pode desencadear processos que comprometem os serviços ambientais e consequentemente, a realização dessas funções.

Os serviços ambientais de florestas como a Mata Atlântica, contribuem com a proteção da biodiversidade, regulação do clima, com a formação e conservação dos solos, com a regulação hidrológica, com a qualidade da água dos rios, entre outros benefícios. Dessa forma, as matas estão diretamente associadas com os processos hidrosedimentológicos, reduzindo ocorrências de enchentes, erosão, assoreamento e poluição hídrica (GUEDES, SEEHUSEN, 2011).

A perda de solo é um exemplo de função ambiental das florestas associada aos processos erosivos podendo ser desencadeados com as atividades antrópicas e gerar outros problemas ambientais, como o assoreamento e a turbidez dos mananciais. A vazão dos cursos d'água e o escoamento superficial são outros exemplos de funções ambientais da vegetação florestal. O aumento da vazão e do escoamento superficial pode gerar problemas ambientais como: erosão, redução do tempo em que a água pluvial fica na bacia hidrográfica, aumento da turbidez e de inundações.

Ao considerar as funções ambientais e sociais da vegetação florestal nativa remanescente no planejamento e na gestão ambiental, pode-se agregar valor à propriedade e ao projeto de expansão urbana, não sendo a mata compreendida como obstáculo ao desenvolvimento econômico de uma cidade. Com o desmatamento associado às atividades agropecuárias tem-se a fragmentação e a redução dos remanescentes florestais, contribuindo com mudanças nas características qualitativas dos cursos d'água, como a turbidez.

No Oeste de Santa Catarina, Chapecó é uma das cidades que é considerada foco de atração pelas atividades econômicas, pela oferta de serviços especializados e de ensino superior. De acordo com Alba et al. (2015), Chapecó destaca-se pelo aumento populacional urbano entre 1980 e 2015, em relação às demais cidades do Oeste catarinense. Esse crescimento populacional reflete na expansão urbana uma

pressão nos recursos naturais, principalmente na vegetação florestal nativa. No meio rural as atividades econômicas evidenciam a fragmentação da mata nativa em áreas menores e muitas vezes isoladas, contribuindo com os problemas ambientais.

Considerando a fragmentação e redução da cobertura florestal e como a tendência é a expansão urbana para algumas áreas que ainda conservam vegetação nativa remanescente em Chapecó, para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionadas as bacias hidrográficas dos lajeados São José e Passo dos Índios. A bacia do lajeado São José com predomínio de propriedades rurais, possui mais áreas com vegetação nativa, tem suas nascentes no município de Cordilheira Alta, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios, destaca-se pela ocupação urbana, tendo alguns fragmentos florestais.

Essas bacias hidrográficas foram selecionadas por terem diferentes usos da terra, em destaque à cobertura florestal remanescente. As bacias hidrográficas em estudo foram divididas em quarenta sub-bacias para ter mais detalhes e facilitar a comparação das funções ambientais com os diferentes tipos de uso e ocupação da terra.

Com o crescimento populacional, a expansão urbana, as atividades econômicas no meio rural, os processos de desmatamento e fragmentação da vegetação florestal nativa, foram escolhidas, a perda de solo, a vazão e o escoamento superficial como funções ambientais para essa pesquisa.

A mudança no uso da terra e a forma de ocupação podem interferir nas funções ambientais. O desmatamento, a ocupação nas margens dos cursos d'água e a canalização de rios modificam constantemente a paisagem, sendo importante analisar a forma como a intervenção antrópica pode comprometer as funções ambientais dos fragmentos remanescentes da Mata Atlântica, como mudança na perda da biodiversidade, na redução da infiltração, aumento do escoamento superficial, nos processos erosivos e no assoreamento.

Tucci e Clarke (1997) ressaltam a importância em conhecer o processo de fragmentação da mata nativa através do uso e ocupação da terra. O que pode contribuir para compreender se as funções ambientais da vegetação florestal ficam comprometidas e desencadear problemas sociais, ambientais e econômicos.

Considerando a fragmentação da cobertura florestal e como a tendência é a expansão urbana para algumas áreas que ainda conservam mata nativa, a pesquisa

visa colaborar com a investigação sobre a contribuição dos remanescentes florestais para a redução do escoamento superficial e o aumento da infiltração da água pluvial no solo, da perda de solo para melhor aproveitamento nas atividades econômicas e para controle da vazão.

Conhecer a relação entre cobertura florestal, funções ambientais, problemas socioambientais, uso e ocupação da terra e crescimento populacional, é importante para o planejamento de um município. Visando contribuir com o planejamento e a redução de problemas ambientais, a pesquisa tem como questão central: “Onde estão localizadas as sub-bacias mais susceptíveis aos problemas ambientais, considerando as alterações na mata nativa e os efeitos nas funções ambientais de perda de solo, vazão e escoamento superficial?”

Nesse sentido, entende-se que a simulação de cenários ambientais através da modelagem possibilita compreender a relação entre fragmentos de remanescentes da vegetação nativa e as funções ambientais. O modelo hidrológico escolhido é o *Soil and Water Assessment Tool*, conhecido como SWAT, por considerar a fisiografia, como dados climáticos, tipos de solo, características do solo e declividades; para simular os processos hidrossedimentológicos. Outros fatores considerados na escolha do modelo: interface com os *softwares* ArcView e Windows (*Visual Basic*); acesso e gratuidade; simula cenários ambientais e é aplicado, principalmente em bacias hidrográficas rurais podendo ser considerada a ocupação urbana (NEITSCH et al., 2011), como é o caso da área de estudo.

Conforme o exposto, a hipótese reflete sobre as possibilidades em questão: “Os fragmentos da vegetação remanescente do Bioma Mata Atlântica não estão sendo conservados, comprometendo suas funções ambientais, como vazão, escoamento superficial e perda de solo na área de estudo”.

Considerando a questão central e a hipótese, a pesquisa tem como objetivo geral, compreender os efeitos hidrológicos e na perda de solo com as alterações na cobertura florestal nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios. Tendo como objetivos específicos:

- Comparar a contribuição dos remanescentes florestais na diminuição do escoamento superficial, vazão e perda de solos entre as bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios.
- Correlacionar os efeitos hidrológicos e a perda de solo com as mudanças na cobertura florestal nativa e no uso da terra entre 1989 e 2015.

- Fazer simulações de cenários ambientais para contribuir com o planejamento ambiental.

Para melhor compreensão da proposta dessa pesquisa, o trabalho foi organizado em seis capítulos, além dessa introdução e das considerações finais. No primeiro capítulo têm-se informações sobre a localização geográfica das bacias hidrográficas dos lajeados São José e Passo dos Índios.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica e metodológica sobre urbanização, fragmentação da cobertura florestal nativa, impacto ambiental, função ambiental, perda de solo, efeitos hidrológicos, planejamento ambiental e modelo hidrológico SWAT. No terceiro capítulo contempla as etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa.

O quarto capítulo versa sobre os principais aspectos fisiográficos e socioeconômicos das bacias hidrográficas, considerando o contexto dos municípios de Chapecó e Cordilheira Alta. No quinto capítulo apresenta-se a evolução do uso da terra e o processo de fragmentação da mata nativa nos anos de 1989, 1996, 2010, 2015 e as simulações com Áreas de Preservação Ambiental e substituindo fragmentos de mata nativa por cultivo ou por edificações.

Os resultados com a simulação de cenários ambientais constam no sexto capítulo, ressaltando as funções ambientais entre as sub-bacias estudadas de acordo com o uso da terra, em destaque para a cobertura florestal nativa. Finaliza-se com as principais considerações dos capítulos, contemplando os resultados, os objetivos propostos, as restrições e as recomendações.

## 2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas dos lajeados São José e Passo dos Índios encontram-se no Oeste Catarinense. As nascentes do lajeado Passo dos Índios e a maioria das nascentes do lajeado São José encontram-se em Chapecó e as demais nascentes desse lajeado localizam-se em Cordilheira Alta.

Os municípios de Chapecó e Cordilheira Alta (Figura 1) fazem parte da Microrregião de Chapecó e da Mesorregião do Oeste de Santa Catarina, conforme classificação do IBGE. Chapecó localiza-se a 630km da capital Florianópolis e situa-se entre as latitudes 26° 56' 14"S e 27° 17' 00"S e entre as longitudes 52° 28' 50"W e 52° 50' 30"W, limita-se ao norte com o município de Coronel Freitas, a nordeste com Cordilheira Alta; a leste com Xaxim, Arvoredo, Seara, a sudeste com Paial; ao sul com o Estado do Rio Grande do Sul; a oeste com Guatambu e Planalto Alegre; e a noroeste com Nova Itaberaba (CHAPECÓ, 2014a).

Chapecó caracteriza-se por ter altitudes aproximadas a 340m até 820m e sua área é de 624,3km<sup>2</sup>, sendo 113,24km<sup>2</sup> de perímetro urbano e 512,36km<sup>2</sup> de perímetro rural (CHAPECÓ, 2014a). As principais vias de acesso são: a rodovia BR 282 possibilita a ligação de Chapecó com Nova Itaberaba, Palmitos e São Carlos, no sentido W e com Cordilheira Alta, Xaxim, Xanxerê e Florianópolis, no sentido E. A rodovia SC 480 liga Chapecó ao município de Erval Grande no Estado do Rio Grande do Sul, no sentido S. Esta rodovia passa pelo município e da sede urbana até a BR 282 é uma rodovia federal.

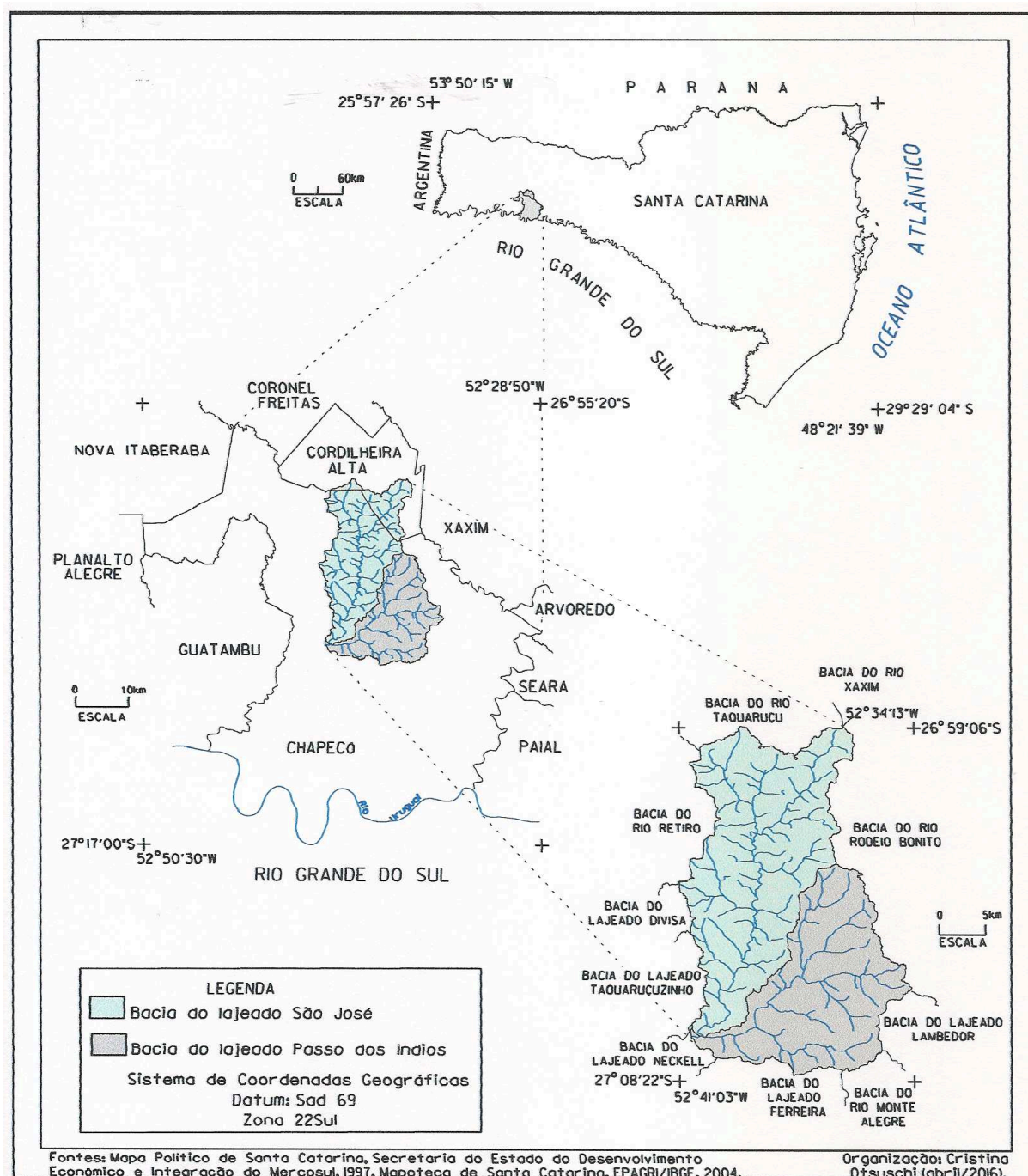
A rodovia SC 157 faz a ligação de Chapecó aos municípios de Coronel Freitas e São Lourenço d'Oeste, no sentido N. No oeste catarinense a rodovia 283 é estadual e liga Chapecó aos municípios de Planalto Alegre e Águas de Chapecó, no sentido W e aos municípios de Arvoredo, Seara e Concórdia, no sentido E. A rodovia SC 484 permite a ligação entre Chapecó e os municípios de Guatambu e Caxambu do Sul, no sentido SW (DEINFRA, 2017).

A rodovia SC 157 liga Cordilheira Alta ao município de Coronel Freitas, no sentido N; a rodovia BR 282 liga o município com Chapecó, no sentido W e no sentido E, com os municípios de Xaxim e Xanxerê (DEINFRA, 2017).

O município de Cordilheira Alta localiza-se entre as latitudes 26° 55' 20"S e 27° 02' 08"S, e entre as longitudes 52° 35' 04"W e 52° 43' 06"W (figura 1), limita-se com o município de Chapecó a noroeste, oeste, sudoeste e sul; Xaxim a nordeste, a

leste e sudeste; e Coronel Freitas ao norte. A área do município de Cordilheira Alta é de 83.768km<sup>2</sup>, encontra-se aproximadamente a 560km da capital Florianópolis e a 18 km de Chapecó (CORDILHEIRA ALTA, 2014).

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo



O lajeado São José é um curso d'água intermunicipal (Figura 1) tendo suas principais nascentes na área urbana do município de Cordilheira Alta. A maior parte da bacia desse lajeado encontra-se no município de Chapecó, principalmente no meio rural. Por ser a principal área de captação de água para os moradores desse município essa bacia possui restrições de uso e ocupação da terra previstos nos planos diretores de Chapecó de 1990, 2004 e 2014.

Os lajeados São José, Passo dos Índios, Taquaruçuzinho e Divisa, deságuam no lajeado Neckell que é afluente do rio Chalana. Este curso d'água encontra-se submerso desde a construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Foz do Chapecó e é um dos afluentes do rio Uruguai. A área da bacia hidrográfica do lajeado São José é de aproximadamente 73,72km<sup>2</sup>.

O lajeado Passo dos Índios (Figura 1) é um curso d'água municipal tendo suas nascentes no meio rural de Chapecó e o eixo do canal principal tem sentido SW. Por drenar principalmente a área urbana e pelas características morfológicas (mais detalhes no capítulo 5), a bacia hidrográfica do lajeado Passo dos Índios, com 53,28 km<sup>2</sup>, caracteriza-se por ter vários trechos de seus afluentes que foram canalizados para evitar inundações. A bacia hidrográfica deste lajeado localiza-se a leste da bacia do lajeado São José.





### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA METODOLÓGICA

Em relação ao referencial teórico e metodológico, as bibliografias sobre urbanização, fragmentação da vegetação florestal, efeitos hidrológicos, perda de solo, contribuições do modelo hidrológico SWAT na simulação de cenários e planejamento ambiental, foram importantes para o desenvolvimento da pesquisa.

A proposta metodológica que norteou a pesquisa foi a de Libault (1971), tem mais detalhes no item 4. Destacam-se quatro níveis a serem considerados nas pesquisas geográficas. O primeiro nível é o compilatório em que é realizada a coleta de dados, de informações e de materiais. Nessa etapa é importante verificar a qualidade dos dados e fazer uma seleção. O segundo nível é o correlatório, caracterizado pelas correlações estabelecidas entre os dados. O semântico é o nível de pesquisa em que as correlações são analisadas conforme os objetivos da pesquisa e o último nível é o normativo. Nesse nível os resultados são traduzidos em normas e em modelo.

#### 3.1 URBANIZAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL

O processo de urbanização acelerado no Brasil resultou em cidades com mudanças significativas tendo impactos ambientais negativos, pois muitas vezes não estavam preparadas para comportar e atender às necessidades dos novos habitantes (AMORIM, 1994). Os processos de ocupação e sua expansão no meio urbano são considerados pela autora, como um sério problema da humanidade, principalmente quando este ocorre de forma desordenada utilizando os recursos naturais sem planejamento.

Martine (1996, p. 35) comenta que no Brasil “as questões sociais e ambientais de maior significado para a população brasileira necessariamente vão se centrar onde existe maior densidade econômica e demográfica”, ou seja, nos espaços urbanos com destaque ao “[...] aumento na ocorrência e gravidade de enchentes devido ao desmatamento e ao adensamento demográfico; a poluição da água, da terra [...]”. A concentração populacional associada às características fisiográficas e à forma de uso e ocupação do solo, podem potencializar os efeitos negativos ao ambiente e refletir na qualidade de vida dessa população.

Os problemas ambientais urbanos “[...] como o da erosão, desmoronamentos de encostas, assoreamento de cursos d’água, constituição de ilhas de calor, falta de áreas verdes, poluição do ar, sonora e da água, uso de áreas para deposição de lixo [...]” resultam do descompasso entre o tempo da natureza e o tempo da sociedade, em que “[...] o modo de vida está associado ao consumo em larga escala.” (SPÓSITO, 2003, p. 296).

As intervenções antrópicas desencadeiam mudanças ambientais que envolvem questões sociais e econômicas, sentidas de forma mais rápida pela população, e voltar às condições anteriores às mudanças, nem sempre ocorre porque outras intervenções são realizadas sem conhecer a dinâmica dos processos ambientais. Enfrentar a questão ambiental no meio urbano torna-se um desafio.

Com efeito, não há como separar os problemas ambientais mais aflitivos destes ‘tempos pós-modernos’, dos processos de urbanização em geral, e da estruturação intra-urbana em particular. Esta associação estrutural é materializada tanto pela pressão sobre o meio ambiente natural para sustentação do modo de vida urbana, quanto pela natureza mesma dos ambientes criados, reconhecidos como ‘cidade’ (SMOLKA, 1996, p. 133).

Dessa forma, compreende-se que a questão ambiental vai além do sentido ecológico, pois implica na questão social articulada nas questões econômica, político, cultural e ideológico.

Para Bitoun (2003, p. 299) a relação entre desigualdade social e degradação do meio pode estar associada com a “[...] formação de um ambiente urbano de baixa qualidade”, que resulta dos

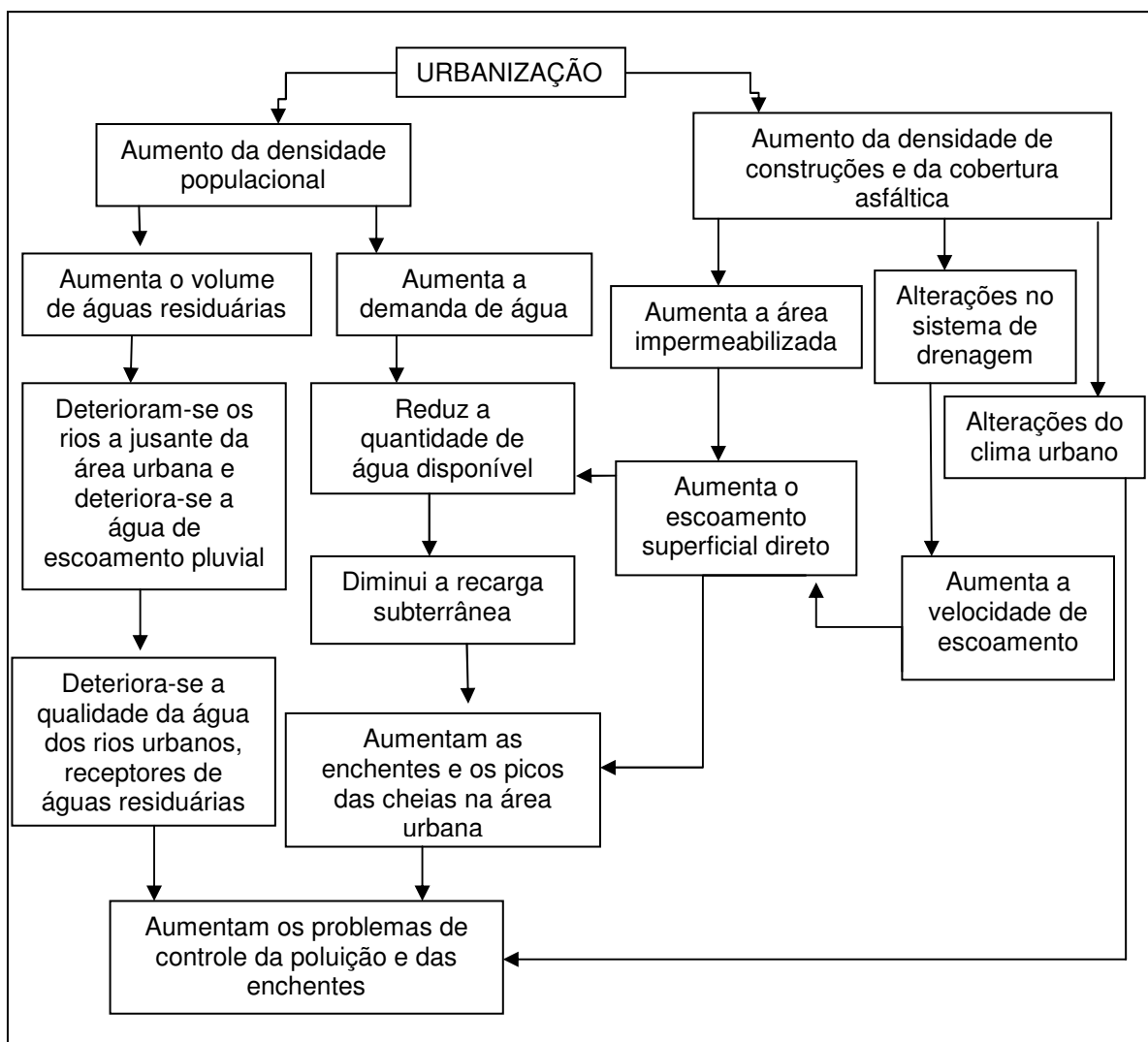
[...] modos de apropriação do solo e de constituição pela engenharia civil das redes físicas de infra-estrutura [sic] que, em quadros urbanos, complementam, ou substituem parcialmente os sistemas naturais. Essa materialidade expressa a insustentabilidade do modelo de desenvolvimento urbano que desestabilizou os sistemas naturais de drenagem e erosão e gerou precárias condições de habitabilidade para amplos setores da população, bem como perdas de valores estéticos e de uso que representam deseconomias para toda a sociedade.

Vale ressaltar que a existência de infraestruturas como a rede de galerias de águas pluviais e a pavimentação de ruas também podem servir para desencadear ou acelerar alterações de forma negativa no meio ambiente quando implantadas sem um planejamento ambiental. Como exemplo, tem-se o desenvolvimento de

processos erosivos devido ao escoamento concentrado de águas pluviais nas ruas (OTSUSCHI, 2000).

Araújo, Almeida e Guerra (2005) enfatizam a importância da vegetação, com destaque para a arbórea, na estabilidade das encostas e na proteção das margens dos cursos d'água quanto aos processos erosivos, de assoreamento e de poluição hídrica. O desmatamento e a mudança no uso da terra, priorizando a impermeabilização, desencadeiam efeitos negativos ao ambiente, necessitando de infraestrutura como a rede coletora de águas pluviais e na busca de alternativas para evitar ou minimizar os problemas ambientais (Figura 2).

Figura 2 - Relação entre crescimento populacional e impermeabilização com a urbanização



Fonte: Modificado de Tucci (2000 apud Tundisi, 2003).

Muitas cidades oferecem serviços especializados, assim como oportunidades de estudo e de emprego; atraindo novos moradores que vão contribuir com a expansão urbana. Muitas vezes há a verticalização da ocupação e aumento na densidade populacional. Com o crescimento da população, os efeitos refletem tanto na demanda de recursos naturais, como a água potável, quanto os resíduos que são produzidos.

O aumento da densidade populacional também contribui nas alterações do clima urbano; na ampliação da área construída e, conseqüentemente, a impermeabilização. Como resultado, tem-se o aumento do escoamento superficial em menor tempo, o assoreamento, as inundações e as alterações nos cursos d' água, seja na qualidade e quantidade de água. Nucci (1999) complementa, mencionando que a canalização dos cursos d'água faz com que a água chegue ao canal em menor tempo e de forma concentrada, não conseguindo dar vazão da mesma forma sem a intervenção antrópica.

Pensamentos como aqueles sobre os cursos d'água, que têm a função de levar os resíduos indesejados e onde as casas já são construídas com essa proposta em que os fundos ficam voltados para os rios que é preciso desmatar para ter o desenvolvimento, acabam refletindo a relação econômica e política que se tem entre sociedade e ambiente urbano.

De acordo com Spósito (2003, p. 296):

[...] a diminuição da cobertura vegetal, como condição para a densidade construtiva que caracteriza a cidade, e a reinvenção da vegetação, sob a forma de paisagismo, como adorno de uma cidade em busca de um passado natural, são formas de se ver como a produção da cidade se relaciona com as dinâmicas e processos constitutivos da natureza.

O processo de urbanização contribui significativamente com mudanças no ambiente, evidenciando a relação crescimento populacional e impermeabilização, que desencadeia outros processos que alteram o meio ambiente. Para Hogan, Marandola Jr. e Ojima (2010) além do crescimento populacional e da pressão que esta exerce nos recursos naturais, deve-se considerar a dinâmica demográfica, no caso, a mobilidade populacional. Os autores ainda mencionam Hogan (2005), que ressalta a relação entre os movimentos populacionais, sejam pendulares, sazonais, êxodo rural entre outros, com os impactos ambientais.

As alterações que ocorrem no meio ambiente e resultam na instabilidade dos ecossistemas, são conhecidas como impacto ambiental (GUERRA, GUERRA, 1997). Essas mudanças podem ser classificadas em positivas ou negativas, planejadas ou não, alterando as condições de saúde e do bem-estar das pessoas (PARKER, 1985 apud CHRISTOFOLETTI, 1995).

Na Resolução 01/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (1991, p.300), no seu artigo 1º impacto ambiental é definido como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II – as atividades sociais e econômicas;
- III – a biota;
- IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V – a qualidade dos recursos ambientais.

O impacto ambiental pode ser classificado de acordo com o período de incidência do impacto, como temporário, permanente ou cíclico. Quanto ao tempo de efeito do impacto sobre o meio pode ser classificado como impacto imediato quando ocorre a incidência logo após o desencadeamento da interferência na área afetada ou em impactos considerados a médio e longo prazos, quando afetarão o meio depois de um tempo maior.

Também pode ser classificado em local ou regional conforme a área de abrangência. Outra possibilidade em classificar o impacto ambiental é em impacto reversível quando é cessada a origem do impacto ou quando o impacto pode ser mitigado, fazendo com que o meio retorne à sua condição original ou em impacto irreversível, quando cessada a origem ou mitigado o impacto, o meio de incidência não mais retorna a sua condição original (PAIVA, 2006).

Araújo (2001, p. 347) ressalta que “a degradação da qualidade ambiental urbana [...] nas cidades brasileiras [...] principalmente da intensa concentração populacional nos grandes centros e do contínuo processo de urbanização e industrialização” evidenciam os impactos e modificações no meio que podem comprometer a qualidade de vida. É o “conflito entre os interesses da proteção ambiental e do desenvolvimento socioeconômico”, gerando problemas ambientais urbanos.

O processo de urbanização “[...] consome grande quantidade de áreas, tamponando-as. Com isso, solos férteis, biótipos, ecossistemas raros e valiosos são perdidos” (CAVALHEIRO, 1995, p. 114). Esse autor também comenta que “[...] a concentração humana e das atividades a ela relacionados provocam uma ruptura do funcionamento do ambiente natural”. Sendo assim, a forma de ocupação e do uso da terra pode gerar vários tipos de problemas ambientais, comprometendo as funções e a estabilidade dos sistemas ambientais.

A vegetação muitas vezes não é considerada como importante para o desenvolvimento das cidades. Com o desmatamento muitas áreas florestais ficam fragmentadas e isoladas, gerando impactos negativos no ecossistema e interferindo nas funções ambientais. De acordo com Araújo (2001), a degradação pode modificar as propriedades físicas e químicas dos elementos naturais, comprometendo seu uso.

### 3.2 FUNÇÃO AMBIENTAL E REMANESCENTES FLORESTAIS

Um problema ambiental muito comum nas cidades é o desmatamento de remanescentes florestais. Alguns impactos resultam do desmatamento, como a diminuição da infiltração da água pluvial no solo, o aumento do escoamento superficial, o desencadeamento de processos erosivos e de inundações.

Bolund e Hunhammar (1999) comentam que as florestas urbanas desempenham importantes serviços, tais como: filtragem do ar, regulação do clima, redução de ruídos, drenagem de água pluvial e recreação/valores culturais. Marques (2010, p. 175) complementa, afirmando que a presença da vegetação, principalmente “[...] a nativa nas margens dos cursos d’água são importantes pelas funções de preservar o recurso hídrico, evitando o assoreamento e, mantendo o corredor da fauna, por onde transitam os animais, onde eles se alimentam, se protegem e se abrigam”.

Esses autores ressaltam as funções ambientais que a mata nativa desempenha, evidenciando a importância da permanência dos fragmentos florestais para melhorar os serviços ambientais que são fundamentais para a sociedade.

Ao analisar o desmatamento no Brasil os autores Hogan, Marandola Jr. e Ojima (2010), comentam que duas funções naturais da Mata Atlântica foram

afetadas: oferecimento de recursos e fixação de nutrientes. A presença de grandes áreas da Mata Atlântica ou de vegetação nativa reforça a proposta de aumentar o desempenho das diferentes funções ambientais, para que a população não tenha as consequências negativas com a retirada da mata.

Para Marandola JR e Hogan (2007 apud HOGAN, MARANDOLA JR., OJIMA, 2010, p. 81), ressalta-se a importância da proteção de os remanescentes de vegetação florestal e a necessidade de não se potencializar os danos ambientais no meio urbano através de:

[...] impermeabilização do solo, pela alteração na drenagem, pelos detritos e resíduos levados para os rios, pela poluição atmosférica, pela derrubada da mata ciliar e por tantas outras mudanças ambientais que tornam o ambiente urbano, do ponto de vista da população, uma ameaça.

Dessa forma, o excesso de fragmentação da cobertura florestal e a supressão de fragmentos desses remanescentes podem interferir nas funções ambientais da vegetação e pode comprometer a prestação de serviços ambientais.

Os serviços ambientais podem ser definidos como “[...] as funções ecossistêmicas desempenhadas pelos sistemas naturais que resultam em condições adequadas à sadia qualidade de vida [...]”, envolvendo os serviços de provisão que resultam do uso e manejo sustentável dos ecossistemas com valor econômico e os serviços de suporte e regulação que se caracterizam pelos serviços que conservam os processos ecossistêmicos e os recursos ambientais naturais (SANTA CATARINA, 2010, p. 1). A função ambiental está associada com sua utilidade para a sociedade através dos serviços ambientais.

Em relação aos serviços ambientais, Demantova (2009, p. 24) enfatiza que é importante aumentar a oferta destes serviços para que a população tenha acesso aos benefícios, como

[...] prevenção contra inundações em função da redução do grau de impermeabilização do solo, melhora do conforto térmico através da arborização, criação de parques de lazer e de contemplação com a criação de praças, bosques e parques ecológicos, minimizar a ocorrência de processos erosivos e perdas de solo com a preservação das matas ciliares nas margens dos rios [...].

Com a presença de áreas verdes principalmente de vegetação florestal nativa no meio urbano, os benefícios podem ser caracterizados como econômicos, sociais

ou ambientais. A impermeabilização do solo e o aumento do fluxo pluvial superficial para os cursos de água causam impactos ambientais e muitas vezes, econômicos e sociais com as inundações, deslizamentos de terra, erosão e assoreamentos.

Baseada na Avaliação Ecossistêmica do Milênio – AEM ou *Millennium Ecosystem Assessment* – MEA, Demantova (2009; 2011) sintetiza os principais benefícios dos serviços ambientais classificados em quatro categorias: suporte, regulação, provisão e cultural (Quadro 1).

Quadro 1 - Categorias de serviços ambientais e seus benefícios

Suporte	<b>Formação dos solos</b> Influencia a fertilidade e a capacidade de produção de alimentos; a fotossíntese; o ciclo de nutrientes como o fósforo, o nitrogênio, entre aproximadamente 20 nutrientes essenciais para a vida e o ciclo da água.	
Regulação	<b>Manutenção da qualidade do ar</b> Os ecossistemas são responsáveis pela purificação e composição, absorvendo carbono e emitindo o oxigênio através do processo de fotossíntese.	<b>Regulação do clima local e global</b>
	<b>Regulação da água</b> Influencia a disponibilidade de água doce, o controle de enchentes; a capacidade de recarga dos aquíferos e os depósitos de águas subterrâneas.	<b>Regulação da erosão</b> A cobertura vegetal controla a retenção do solo evitando a destruição de áreas plantáveis, o assoreamento de rios e os deslizamentos de solo.
	<b>Purificação de água e resíduos</b> Através de processos de filtração e reações químicas no solo e subsolo que retiram os elementos nocivos da água.	<b>Controle de doenças e pestes</b> Através da limitação na reprodução de agentes como o vibrião da cólera, ratos, mosquitos e pragas.
	<b>Regulação da polinização</b> Afetando a distribuição, a abundância e a efetividade dos agentes polinizadores responsáveis pela reprodução vegetal, tais como insetos e outros animais.	<b>Defesa natural contra desastres</b> Ecossistemas como mangues, barreiras de coral e pequenas ilhas podem proteger as áreas costeiras de furacões e grandes ondas.
Provisão	<b>Alimentos</b> como plantas e animais.	<b>Fibras</b> como a madeira, o algodão, a juta, o cânhamo, a seda e a lã, usados em vestuários e construção.
	<b>Combustíveis</b> como a madeira e o estrume, usados para aquecimento.	<b>Bioquímicos</b> São os remédios naturais e substâncias químicas obtidas diretamente do meio ambiente.
	<b>Recursos ornamentais</b> como flores e conchas.	<b>Recursos genéticos</b> para uso em bioengenharia.
	<b>Água doce</b>	
Cultural	<b>Atividades</b> esportivas, de lazer, contemplação e descanso que os parques, florestas, áreas turísticas, áreas de lazer e recreação podem oferecer.	

Fonte: (Demantova, 2009).



Pode-se complementar esse quadro com a função “informação” na melhoria do bem-estar espiritual/religioso, na saúde e no desenvolvimento cognitivo da população (GROOT, 1992 apud FÁVERO, 2007, p. 84 – 85).

A pesquisa contribui principalmente com a categoria de regulação, nas funções de regulação da água e da erosão; pois as áreas florestais auxiliam na infiltração da água e redução do escoamento superficial, dos processos erosivos e do assoreamento nos cursos d'água.

Tundisi (2003) reforça que as intervenções antrópicas podem gerar impactos negativos que podem ser prejudiciais e alterar as funções, comprometendo os serviços ambientais, tais como: a alteração do canal natural do rio resulta em danos ambientais aos cursos d'água ao modificar seus fluxos; o desmatamento e alteração no uso da terra contribuem com o aumento de sedimento, de escoamento superficial e de enchentes, alterando a quantidade e qualidade da água; e o crescimento da população que está associado com a mudança no uso da terra, altera os ciclos hidrológicos e a qualidade da água.

Ratificando as vantagens na conservação das funções ambientais da cobertura vegetal, Demantova (2009) ressalta que os serviços e os benefícios das áreas verdes evidenciam a importância em proteger essas áreas, como as Áreas de Preservação Permanente, que desempenham os serviços ambientais de suporte, de regulação, de provisão e cultural.

De acordo com a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, a Área de Preservação Permanente, conhecida como APP, é considerada como “[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

No Plano Diretor de Chapecó a APP é considerada área protegida tendo ou não, mata nativa “[...] com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (CHAPECÓ, 2014a). Ressalta-se então, que a manutenção, ampliação ou restauração de fragmentos de remanescentes da cobertura florestal nativa, sendo Área de Preservação Permanente ou não, resultam em benefícios para a sociedade.

Com o crescimento populacional e a necessidade de espaços para a expansão urbana, há uma pressão cada vez maior nos recursos naturais. Graeff (2011) chama atenção para as cidades médias localizadas na Mata Atlântica nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, que podem sentir com a falta de cumprimento das leis ambientais, como por exemplo, a ausência das Áreas de Preservação Permanente – APPs.

O autor também faz um resgate das leis associadas às APPs, como Código Florestal (Lei Federal no 4.771/65), Medida Provisória nº 2.166-67; Resoluções nº04 de 1985 e nº 303 de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para evidenciar a delimitação de APPs tendo ou não vegetação nativa considerando a função ambiental, abrangendo as margens dos rios e áreas de topos.

Em relação aos critérios para a identificação das Áreas de Preservação Permanente, Marques (2010, p. 171-173), destaca que as APPs podem ser delimitadas pela localização, como margens de rios e nascentes, ou pelas características topográficas, como topo de morro e encostas com declividade igual a 100%.

O Plano Diretor de Chapecó de 2014 considera Área de Preservação Permanente a faixa nas margens dos cursos d'água natural perene e intermitente, considerando a borda da calha do leito regular, tendo largura mínima de:

- a) 30,00m (trinta metros), para os cursos d'água de menos de 10,00m (dez metros) de largura; [...]
- II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
  - a) 100,00m (cem metros), na Macrozona Rural, exceto para o corpo d'água com até 20,00ha (vinte hectares) de superfície, cuja faixa marginal será de 50,00m (cinquenta metros);
  - b) 30,00m (trinta metros), na Macrozona Urbana. [...]
- IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50,00m (cinquenta metros);
- V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45° (quarenta e cinco graus), equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
- VI - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100,00m (cem metros) e inclinação média maior que 25° (vinte e cinco graus), as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação (CHAPECÓ, 2014b).

A descaracterização da vegetação nativa remanescente muitas vezes é a justificativa para a supressão. A divulgação do conhecimento sobre as funções e

serviços ambientais da vegetação, poderia ser um incentivo ao plantio de espécies nativas nas Áreas de Preservação Permanente ou em outros fragmentos. A lógica não seria a eliminação das espécies nativas, mas a restauração ou ampliação das áreas desmatadas para que tenham suas funções e os benefícios sejam aproveitados pela população.

Na tentativa de verificar como a fragmentação pode comprometer as funções ambientais da cobertura florestal, Metzger (1999) destaca alguns parâmetros que podem ser analisados, como: área, tamanho, localização e distância entre os fragmentos. Se o tamanho do fragmento for pequeno, a descaracterização do habitat será maior, influenciando tanto no comportamento das espécies como no comportamento hídrico. Quanto maior a distância entre os fragmentos, menor serão os benefícios que a vegetação vai proporcionar ao ambiente.

Para Cândido Jr. (1993 apud ZAÚ, 1998, p. 165), é importante “[...] investir em unidades de conservação de grande porte e no aumento da funcionalidade ecológica de diversas áreas de menor porte (fragmentos), as quais, sem uma real conectividade, podem tornar-se ‘reservas’ inúteis do ponto de vista preservacionista”; sendo um desafio a criação de uma rede integrada de áreas com remanescentes, no caso, a Mata Atlântica.

### 3.3 FRAGMENTAÇÃO DE REMANESCENTES DA VEGETAÇÃO NATIVA E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS

Com o crescimento urbano aumentam os desafios para reduzir os problemas sociais e ambientais, como comenta Ribeiro (2008, p. 35), ao mencionar a dificuldade em proteger os mananciais em relação à ocupação irregular, aos problemas com inundações, deslizamentos e a demanda crescente de água com qualidade, “[...] para a produção do espaço urbano e para suprir as necessidades de seus habitantes”. Quando começa o processo de urbanização, Araújo, Almeida e Guerra (2005, p. 64) comentam que:

[...] as mudanças na hidrologia natural de uma área são inevitáveis. [...]. Os maiores problemas são o grande aumento nos volumes de escoamento superficial e as subsequentes cargas de erosão e sedimentos às águas superficiais que acompanham essas mudanças na paisagem.

Complementando, Tucci e Clarke (1997) ressaltam que o uso da terra e a forma de ocupação nas bacias hidrográficas, podem potencializar problemas decorrentes das intervenções naturais e antrópicas na vegetação e influenciar no comportamento hidrológico, desencadeando diversos impactos negativos sobre o meio ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos. É importante considerar a dinâmica da natureza nos planejamentos ambiental e territorial para reduzir os problemas sociais, econômicos e ambientais nos municípios.

O crescimento e a manutenção da vegetação consistem em um dos métodos para alcançar os objetivos em relação à redução dos processos erosivos (SILVA, SCHULZ, CAMARGO, 2004), pois a cobertura vegetal pode interceptar a água da chuva, reduzindo o impacto no solo e servindo como barreira física para reduzir a capacidade erosiva do escoamento superficial concentrado.

De acordo com Drew (1994, p. 190), “[...] os rios, nas áreas urbano-industriais, geralmente possuem baixo teor de oxigênio em solução, estando fortemente poluídos com sedimentos e materiais em suspensão”. Esses problemas ambientais estão associados com o escoamento superficial que além de erodir o solo, transporta os sedimentos e poluentes, que são depositados nos cursos d’água. Decorrem ainda, o assoreamento, o aumento da turbidez e muitas vezes, as inundações.

Em relação ao desmatamento e ao processo de fragmentação das florestas e dos corredores de vegetação, Zaú (1998) enfatiza preocupação, principalmente com a Mata Atlântica, sendo necessário haver mais estudos sobre a dinâmica ecológica da vegetação remanescente para conciliar a conservação e o desenvolvimento.

Tucci e Clarke (1997, p. 145) citam as pesquisas de Lal (1981) e Lawson et al. (1981) em que analisam o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica sem desmatamento e outra, que foi dividida em doze áreas com diferentes tipos de desmatamento. Esses autores verificaram que “antes do desmatamento, a bacia produziu, durante 1974 a 1978 apenas 2,5% do escoamento, com relação à precipitação total”.

Esse dado foi comparado com o de 1979 em que o escoamento aumentou para 23% da precipitação, evidenciando a importância da função da cobertura florestal para os processos de infiltração, reduzindo o escoamento superficial e a perda de solo. O aumento do escoamento superficial resulta também, da mudança

no tipo de uso da terra. Com a substituição da mata por construções aumenta a área impermeabilizada, reduzindo a infiltração da água pluvial no solo e consequentemente, tem-se a concentração da água na superfície gerando o escoamento.

Os autores evidenciam então, a função das florestas quanto aos efeitos hidrológicos, e também, a importância em conhecer as mudanças no uso da terra (desmatamento, reflorestamento e impermeabilização), tipos de uso (urbanização, reflorestamento, culturas anuais, permanentes ou de subsistência) e o método de alteração (queimada, manual ou com equipamentos) que podem estar associados com os efeitos com diferentes níveis.

Botelho e Silva (2007) mencionam o estudo de Baldissera et al. (1989) realizado no Oeste de Santa Catarina e concluíram que mesmo em diferentes tipos de solo a taxa de infiltração foi maior em áreas com mata nativa ao ser comparado com cultivo convencional.

Outra comparação foi realizada por Rodrigues et al. (2015) entre solo exposto e capim como cobertura vegetal, para pesquisar a perda de solo e escoamento superficial em diferentes declividades. A perda de solo com associação direta com o escoamento superficial indicou a importância da cobertura vegetal para aumentar a infiltração e reduzir a produção de sedimentos, em que nesse estudo, as declividades não tiveram influência significativa nos resultados.

Estudos sobre áreas fragmentadas principalmente da cobertura florestal foram realizados por Valente (2001), Traficante (2007), Calegari et al. (2010), Goerl et al. (2011), Ferreira (2012), Magalhães (2013) e Ferreti (2013).

Com o desmatamento resulta a fragmentação de áreas com vegetação nativa e o aumento da possibilidade em comprometer as funções ambientais e os serviços ambientais. Com diferentes abordagens há várias pesquisas sobre esse tema, como pode ser visto em Demantova (2009, p. 20), que propõe as redes técnicas ambientais como “[...] estratégia metodológica de planejamento e gestão ambiental das áreas verdes urbanas”.

Morero, Santos e Fidalgo (2007) fazem uma proposta metodológica para o planejamento ambiental de áreas verdes em Campinas, considerando indicadores ambientais que consistem em elementos antrópicos, naturais e o potencial das áreas de acordo com orientações propostas em *Batelle Columbus Laboratories*. Para identificar os locais prioritários para a implantação de áreas verdes, os indicadores

foram classificados em categorias considerando os recursos naturais disponíveis e o “[...] potencial recreativo dos espaços livres [...], os condicionantes do meio que limitam as possibilidades de ocorrência dessas áreas; e as características das comunidades que, ao menos potencialmente, são usuárias das áreas verdes”.

Souza, D. (2012) desenvolveu um estudo utilizando os princípios de Geoecologia da Paisagem na tentativa de propor um planejamento ambiental tendo como base uma rede de corredores verdes para municípios de pequeno porte, como o município de Feliz, localizado no Rio Grande do Sul. Para a construção dessa proposta, a autora teve como desafios: utilizar a base de dados de domínio público, ter procedimentos simplificados para a integração dos dados e fazer com que a população participasse do processo de planejamento em várias etapas nas oficinas.

Outra possibilidade é utilizar a modelagem de sistema ambiental, como fez Lelis (2011), ao pesquisar a relação entre escoamento superficial e a perda de solo em uma bacia hidrográfica em Minas Gerais através do modelo hidrológico SWAT.

Todas essas pesquisas de certa forma mencionam a importância da cobertura florestal, qual seja a sua característica ou função ambiental; seja para a biodiversidade, saúde, balanço de energia e fluxo de volumes de água.

### 3.4 EFEITOS HIDROLÓGICOS

Em relação ao ciclo hidrológico, Drew (1994) destaca processos de “armazenagem” de água e de transferências, estão interligados e recebem interferências com as atividades antrópicas (Figura 3).

Drew (1994) classificou os impactos gerados pela intervenção humana em três níveis no ciclo hidrológico. O primeiro nível é o de impacto leve com os processos de precipitação, escoamento e evapotranspiração.

O segundo nível envolve interceptação, armazenagem de superfície, umidade do solo, água subterrânea, escoamento de superfície e fluxo de água subterrânea, tendo um impacto moderado. O terceiro nível com grande impacto engloba infiltração, armazenagem fluvial e fluxo dos rios.

Os efeitos hidrológicos resultam de processos que podem ser classificadas de acordo com a direção predominante do fluxo na bacia hidrográfica: vertical, com processos de precipitação e evapotranspiração; e o longitudinal com os processos



cobertura da terra. Ressalta-se a importância da presença de cobertura vegetal que contribui para a interceptação da precipitação e reduz o impacto no solo. Com o desmatamento, consequências ocorrem de diversos níveis de impacto, principalmente na armazenagem de superfície, infiltração, umidade do solo, recarga da água subterrânea, aumento do escoamento de superfície, armazenagem fluvial e fluxo dos rios.

Como é um ciclo, qualquer interferência antrópica poderá repercutir com intensidades diferentes nos processos envolvidos. Tucci e Clarke (1997) reforçam a relação entre alteração no uso da terra com o escoamento, tendo consequências nas enchentes e nas vazões.

Tucci e Clarke (1997) comentam estudos de Hibbert (1967) que mostram a avaliação de 39 bacias experimentais: com a redução da área de floresta há o aumento da vazão média; mesmo com fragmentos florestais esparsos ocorre a redução da vazão média.

Concordando com esse resultado dos estudos mencionados, Cech (2013) enfatiza que a presença de florestas, outros espaços com cobertura vegetal e os parques contribuem para que não ocorra o aceleração do escoamento pluvial superficial. Isso faz com que haja maior infiltração da água no solo e aumenta o tempo em que a água permanece na bacia hidrográfica.

Bernatzky (1983 apud BOLUND; HUNHAMMAR, 1999) comenta que nas áreas urbanas sem vegetação, cerca de 60% da água da chuva escoam superficialmente e em áreas com vegetação, são apenas de 5% a 15%. Tucci e Clarke (1997) mencionam que durante a precipitação, quanto maior for a superfície de folhagem, maior será a possibilidade de infiltração da água no solo.

Comparando bacias hidrográficas urbanizadas com as florestadas, Botelho e Silva (2007) ressaltam a impermeabilização significativa nos ambientes urbanos, gerando importantes fluxos superficiais com pouca infiltração de água no solo. Nesta mesma direção, Botelho (2011, p. 72-73), acrescenta que esses fluxos:

[...] atingem seu exutório mais rapidamente e de forma mais concentrada, gerando o aumento da magnitude e da frequência das enchentes nessas áreas. As bacias hidrográficas urbanas são, portanto, marcadas pela diminuição do tempo de concentração de suas águas e pelo aumento dos picos de cheias, quando comparadas às condições anteriores à urbanização.



O aumento da área impermeabilizada, da canalização e retificação de cursos d'água potencializa a ocorrência de inundações e minimizam “[...] os processos hidrológicos que contribuem para retardar os fluxos de água para o rio, tais como a infiltração no solo, o deslocamento do fluxo subsuperficial e a recarga de água subterrânea” (DREW, 1994, p. 178). Complementando esse raciocínio Nucci (1999, p. 17) comenta que a canalização de curso d'água

[...] faz com que a água da chuva que cai na cidade flua com maior rapidez para os corpos principais de água, que não conseguem dar vazão ao grande volume. A capacidade de vazão do rio é também diminuída pelo assoreamento ocasionado pelo constante remanejamento de terras devido ao crescimento desenfreado da cidade.

O aumento da vazão nos cursos d'água, do escoamento superficial (*runoff*), da perda de solos, do assoreamento e de inundações dependem não só dos fatores climáticos, como também do uso da terra e da forma de ocupação. A presença de remanescentes da vegetação contribui então, com a infiltração da água pluvial no solo minimizando problemas ambientais, como as inundações e a perda de solo.

### 3.5 PERDA DE SOLOS

A perda de solos resulta de processos erosivos e de acordo com Richter (1978 apud DERPSCH et al., 1991, p.17), a erosão do solo pode ser compreendida como: “as manifestações de desgaste e acúmulo que alteram o equilíbrio da paisagem acima de um limite naturalmente admissível [...] são provocadas pelo homem e efetivadas pela ação da água, do vento e da força da gravidade”. As atividades antrópicas podem desencadear ou potencializar os processos erosivos, mas ressalta-se que, o vento e a chuva também são exemplos de agentes ativos que não precisam da interferência humana para iniciar a erosão.

Para Schwab et al. (1957) a erosão do solo caracteriza-se pela remoção de materiais inorgânicos que constituem os solos, assim com a perda de matéria orgânica e de nutrientes de plantas.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2010, p. 68) erosão é “[...] o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento”, em que a chuva pode retirar, transportar e depositar material pedológico e seus nutrientes, caracterizando o processo erosivo hídrico. Guerra e Mendonça

(2007, p. 17) destacam a ação da água no processo erosivo em áreas com a concentração de chuvas em algumas estações do ano, agravadas com o desmatamento “[...] uma vez que os solos desprotegidos da cobertura vegetal e, conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno”.

A erosão contribui com a degradação do solo sendo destacada como problema mundial por Wicander e Monroe (2009, p. 139), pois a taxa de perda de solo supera a taxa de formação no tempo histórico, isto é, da “perspectiva humana”.

Para esta pesquisa, a água é o principal agente transformador do ambiente, caracterizando a erosão hídrica e tendo conseqüências negativas como perda de solo, escoamento superficial, assoreamento e inundações. Esse tipo de erosão também pode ser classificado como erosão acelerada, também denominada como antropogênica ou antrópica, pois o desencadeamento dos processos erosivos está associado com as atividades humanas, seja com o desmatamento, com as práticas inadequadas de cultivo ou com a construção de edificações (BRAUN, 1961; DAEE/IPT, 1989; FENDRICH et al., 1991; GUERRA, GUERRA, 1997; ARAÚJO, ALMEIDA, GUERRA, 2005; BOTELHO, SILVA, 2007).

A água na superfície amplia as chances de processos erosivos, assim como o aumento da vazão nos cursos d’água também possibilita a erosão fluvial; podendo provocar alterações geomórficas. A retirada da cobertura pedológica pode resultar em diferentes feições erosivas e sua origem e evolução dependem de fatores físicos e humanos. Para este trabalho não foram analisados os tipos de incisões erosivas, como sulcos, ravinas e voçorocas; somente a perda de solo decorrente do uso e ocupação da terra.

As características fisiográficas, juntamente com as atividades antrópicas, podem potencializar os processos erosivos. De acordo com Goudie (1990), durante o período de construção de uma cidade aumentam as chances de solo exposto e da perda de solo com a erosão.

A estrutura de microdrenagem e macrodrenagem pode contribuir com a perda de solos. Segundo Martins (1995) a estrutura de microdrenagem corresponde às ruas, sarjetas, valas, galerias e pontos de lançamentos de águas pluviais como os dissipadores, respectivamente.

Mesmo em solos mais argilosos e em áreas florestadas, é possível ter processos erosivos e perda de solo, dependendo da infraestrutura de micro e

macrodrenagem, como no município de Maringá, localizado no norte do Estado do Paraná, que possui solos oriundos de rochas eruptivas básicas e que apresentam sulcos, ravinas e voçorocas (KRONEN, 1990; OTSUSCHI, 2000). A área de estudo também possui solos argilosos derivados de rochas como o basalto, sendo importante implementar infraestrutura de micro e macrodrenagem nos novos loteamentos que minimizem os problemas ambientais, como os processos erosivos resultando na perda de solo.

### 3.5.1 Perda de solo em área urbana

Nas áreas urbanas os processos erosivos podem se desenvolver mais intensamente, dependendo das características morfológicas, pedológicas e das atividades antrópicas, como o desmatamento e o direcionamento das águas pluviais e residuais das residências e das indústrias. Como essas atividades podem desencadear ou acelerar desequilíbrios com os processos erosivos, a erosão pode ser considerada um impacto ambiental que envolve questões sociais e econômicas, alterando intensamente a base natural e gerando problemas para a população.

Faz-se necessário aumentar os projetos urbanos que evitam ou procuram solucionar os problemas causados pela erosão. Na pesquisa sobre processos erosivos em Manaus, Vieira (1998) enfatizou a importância das estratégias de prevenção, pois financeiramente é mais viável do que a contenção dos mesmos.

Se a área urbana possui muitas ruas pavimentadas, diminui a infiltração e conseqüentemente aumenta a concentração do escoamento superficial (MORISAWA, 1985; BIGARELLA, MAZUCHOWSKI, 1985; MORGAN, DAVIDSON, 1986; DREW, 1994). Este tipo de escoamento associado à topografia pode gerar a remoção e transporte de material que constitui o solo e caracterizar o processo de erosão urbana.

O tipo de uso da terra pode contribuir com os processos hidrológicos e a presença da cobertura florestal faz com que a água atue de forma menos agressiva, possibilitando a infiltração da mesma, evitando a retirada direta do material da superfície. Os processos erosivos mais significativos para este trabalho são aqueles que resultam do escoamento superficial acelerado.

Para Prandini e Iwasa (1991) quando as águas pluviais são conduzidas por sistemas apropriados, o problema com a erosão pode ter origem nos locais em que

as águas são despejadas nos trechos instáveis da drenagem. Com grandes incrementos na vazão com as águas pluviais e servidas, aumentam o fluxo do curso d'água que inicia um processo de entalhamento do leito, contribuindo com o processo erosivo remontante com dinâmica acelerada.

Considerando os processos que envolvem infiltração da água pluvial no solo, escoamento superficial, perda de solo, aumento da vazão, Guerra e Mendonça (2007), destacam a bacia hidrográfica como importante área de estudo para minimizar a erosão e a perda de solo. A bacia hidrográfica possibilita estudos com análise integrada dos diferentes elementos nos processos mencionados.

Uma das possibilidades metodológicas nas pesquisas com bacias hidrográficas é o uso de modelos ambientais que considerem fatores físicos naturais para simular cenários contribuindo com o planejamento ambiental.

### 3.6 A O PLANEJAMENTO AMBIENTAL E OS MODELOS AMBIENTAIS

A interação entre os elementos da natureza muitas vezes não é considerada em estudos ou nas propostas de planejamentos urbano e ambiental, assim como, os efeitos das interferências antrópicas no meio. De acordo com Spósito (2003, p. 296 - 297), uma perspectiva para o embate entre o ambiental e o social é a análise “[...] das representações sociais que se constroem a respeito da natureza e da cidade, na sociedade contemporânea”.

A percepção e a compreensão da natureza nem sempre foram as mesmas. Com o Cristianismo, evidenciou-se a concepção de uma natureza disponível para o homem; em que o capitalismo “[...] só acentuou essa visão de mundo ao estimular a capacidade técnica da sociedade em transformar a natureza e ao sobrepor, ao primado do espírito, o da razão”. A separação entre cidade e o natural fica cada vez mais perceptível, sendo um desafio nos estudos da Geografia para conciliar as diferentes demandas e concepção dessa relação.

A natureza passa a ser vista de forma fragmentada e Camargo (2008, p. 215-216) comenta que ao analisar o solo, relevo, clima e vegetação de forma isolada, não se enfatizam as relações e as interferências que existem entre si. Na tentativa de evidenciar as interações entre os elementos fisiográficos e com as atividades antrópicas, a bacia hidrográfica pode ser considerada importante unidade de estudo para o planejamento ambiental (SILVA, SCHULZ, CAMARGO, 2004).

O planejamento ambiental pode ser considerado complexo e desafiador, pois

[...] se fundamenta na interação e integração dos sistemas que compõem o ambiente. Tem o papel de estabelecer as relações entre os sistemas ecológicos e os processos da sociedade, das necessidades socio-culturais e atividades e interesses econômicos, a fim de manter a máxima integridade possível dos seus elementos componentes (SANTOS, 2004, p. 28).

Nesse sentido, Silva, Schulz e Camargo (2004, p. 94) comentam que o avanço tecnológico é fundamental para propiciar “[...] simulações de alteração de um ou mais fatores que compõem a paisagem que está sendo estudada, e prever o acontecimento ou não de algum tipo de impacto ambiental”. Essas simulações podem ser realizadas através da modelagem de sistemas ambientais com os diferentes modelos matemáticos.

Bastos e Almeida (2000, p. 94) destacam que os modelos matemáticos “[...] são modelos relacionados à inteligência artificial [...]”, desenvolvidos principalmente a partir de 1970 para “[...] representar tanto quanto possível o comportamento de parâmetros ambientais ou as soluções e interações entre as causas e efeitos de determinadas ações”. Ao fazer uma relação entre prevenção de problemas ambientais, sociais e econômicos e despreparo dos governos locais para enfrentar as tragédias, como “[...] enchentes, desabamentos, incêndios, epidemias, desastres naturais [...]”, Maricato (2001, p. 80) ressalta a importância das tomadas de decisão “[...] frente a cenários nem sempre previsíveis”.

Nesse sentido, acredita-se que a simulação de possíveis cenários com auxílio de modelos matemáticos pode contribuir como um recurso a mais para as políticas ambientais municipais. Bastos e Almeida (2000, p. 95) tecem o seguinte comentário sobre a projeção de cenários:

[...] baseia-se na análise de situações ambientais prováveis em termos da evolução de um ambiente (cada situação corresponde a um cenário) e/ou situações hipotéticas, referentes a situações diferenciadas geradas por proposição de alternativas de projetos e programas.

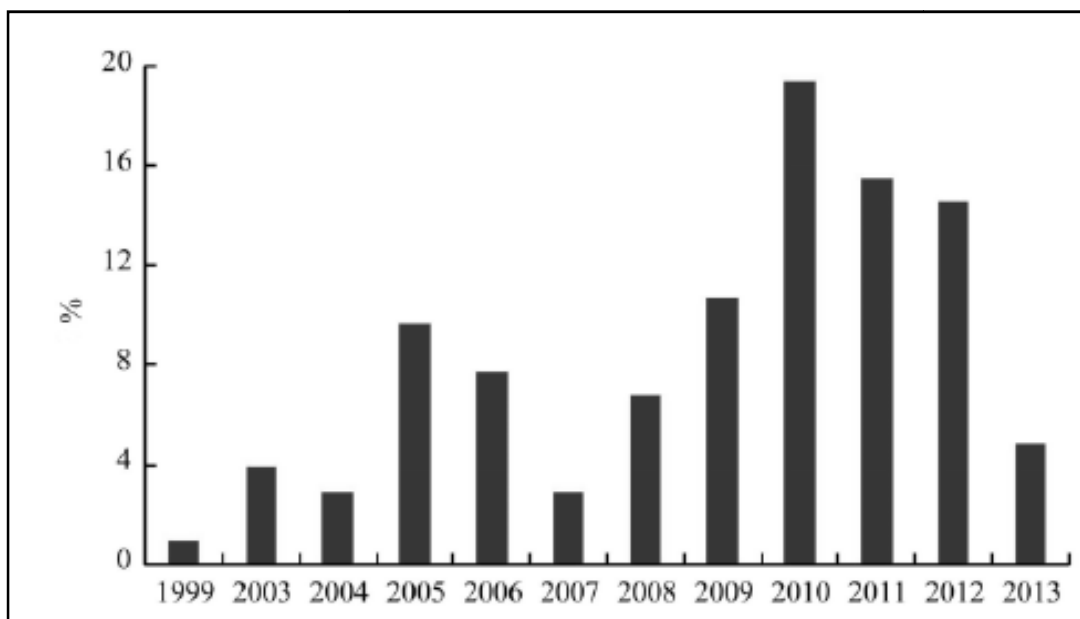
Para o uso dos cenários obtidos em tomadas de decisão é fundamental a qualidade e confiabilidade dos dados inseridos nos bancos de dados dos modelos matemáticos. A simulação de cenários para elaborar propostas de planejamentos urbanos e ambientais tem embasamento teórico e metodológico.

De acordo com Santos (2004) a modelagem, a simulação e a construção de cenários podem ser consideradas como procedimentos de planejamento ambiental com visão integrada para identificar fragilidades, potencialidades, conflitos e alternativas.

Um modelo hidrológico proposto nos Estados Unidos que está sendo adaptado e testado em várias pesquisas no Brasil e em outros países, é o *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT – (NEITSCH et al, 2011). Em um estudo sobre a qualidade da água em uma grande bacia hidrográfica no Texas, Estados Unidos, Santhi et al. (2006) utilizaram o SWAT para simular cenários ambientais em longo período. Na Espanha, Galvan et al (2007) aplicaram o SWAT na pesquisa sobre poluição hídrica na bacia hidrográfica do rio Meca.

Em relação ao uso do SWAT no Brasil, Bressiani et al (2015) destacam o crescente número em teses, dissertações, monografias, artigos científicos e também, em pesquisas de instituições como a EPAGRI/CIRAM. O modelo SWAT está sendo utilizado principalmente para obter conhecimento sobre a produção de sedimentos, a regulação hidrológica e a poluição hídrica em bacias hidrográficas de diversos tamanhos (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição de pesquisas que utilizaram o modelo SWAT entre 1999 e 2013 no Brasil



Fonte: Adaptado de Bressiani et al. (2015).

De janeiro de 1999 a março de 2013 foram identificadas cento e duas pesquisas utilizando o SWAT no Brasil, tendo aumento significativo em 2010 e Bressiani et al. (2015) ponderam que algumas pesquisas podem não ter sido contabilizadas considerando o período de publicação dos periódicos. Os autores ainda comentam que a maioria das pesquisas ocorre no Sul, Sudeste e Nordeste predominando o bioma Mata Atlântica.

### 3.7 CONTRIBUIÇÕES DO MODELO SWAT PARA O ESTUDO DE FUNÇÕES AMBIENTAIS

O modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* conhecido como SWAT foi criado nos Estados Unidos por Jeff Arnold do Serviço de Pesquisa Agrícola na década de 1990, tendo contribuições de diversas instituições e universidades, principalmente de Texas A & M *University System*. Com o modelo SWAT é possível simular diferentes tipos de processos físicos, tendo como área de estudo a bacia hidrográfica para estudar impactos resultantes de mudanças, como por exemplo, o desmatamento (NEITSCH et al., 2011).

Para Baldissera (2005) e Mercuri et al. (2009), SWAT pode ser considerado um modelo matemático de parâmetro distribuído, pois esse modelo precisa de variáveis e parâmetros relativos ao espaço e/ou do tempo. O modelo tem como objetivo analisar os efeitos das alterações que ocorrem no uso da terra em relação aos escoamentos superficial e subterrâneo, na produção de sedimentos e na qualidade da água.

Os autores Blainski, Garbossa e Malutta (2010) destacam a bacia hidrográfica como unidade de estudo nas pesquisas com a aplicação do SWAT e esse modelo como ferramenta para tomada de decisões em relação aos impactos gerados com o uso e ocupação da terra na disponibilidade hídrica, produção de sedimentos, nutrientes e pesticidas. Esses autores destacam alguns dados de entrada importantes para a regulação hidrológica, como:

- Dados climáticos: como temperatura, precipitação e radiação solar, que são fundamentais para alimentar o banco de dados para o balanço hídrico.
- Dados de vazão: importantes para calibrar e validar o parâmetro escoamento superficial no modelo hidrológico.

- Uso da terra: dependendo do tipo de uso e ocupação da terra, haverá maior infiltração da água pluvial ou maior escoamento superficial.

- Modelo digital de elevação da área de estudo: as características do relevo e o mapa de tipos de solo vão indicar a direção do escoamento superficial.

- Mapa de solo: conforme as características de cada tipo de solo ocorrem reações diferentes com a presença da água e para a perda de solo.

Para estudos sobre a produção de sedimentos, nutrientes e pesticidas são necessários dados complementares. Botelho e Silva (2007, p. 161) ressaltam a importância das informações sobre solo porque a mensuração do volume de água precipitada que escoará na superfície resulta da “[...] relação entre volume e intensidade de chuva, combinada com a capacidade de infiltração do solo [...]”.

De acordo com Bressiani et al. (2015) das pesquisas identificadas entre janeiro de 1999 e março de 2013, a maioria tinha como objetivo verificar a eficiência do modelo SWAT nas bacias brasileiras e muitas pesquisas fizeram a simulação de cenários ambientais conforme mudança no uso da terra.

As pesquisas de Lino et al. (2009), Baldissera (2005), Andrade, Mello e Beskow (2013) e Santos et al. (2013) são alguns exemplos de estudos que tratam sobre a análise da vazão em bacia hidrográfica. Silva, J. (2013) enfatizou o serviço ambiental hidrológico das Áreas de Preservação Ambiental na bacia do rio Piracicaba. As pesquisas de Oliveira, M. (1999), Machado, R. (2002), Moro (2005), Prado (2005), Minoti, (2006), Lopes (2008), Lelis (2011) e Malutta (2012) abordam a modelagem do escoamento superficial e a perda de solo. A pesquisa de Monsalve Herrera (2013) teve como foco a simulação hidrológica e de qualidade da água. As pesquisas citadas utilizaram o modelo SWAT para atingir seus objetivos.

Desde a criação do SWAT, o modelo hidrológico vem sendo adaptado para ter melhorias nas rotinas de trabalho. Inicialmente foi utilizado em grandes bacias hidrográficas visando estudos sobre qualidade de água, principalmente em bacias hidrográficas rurais. Uma das contribuições resultantes do processo de melhorias nesse modelo foi o desenvolvimento de interfaces do modelo com os *softwares* ArcView, Windows (Visual Basic) e Grass. Ressalta-se que o modelo também passou por processo de validação (NEITSCH et al., 2011).

Lelis (2011) destaca que o tamanho, a escala e o número de sub-bacias são fatores importantes no processo de planejamento, pois podem interferir nos



resultados. A autora também menciona a dificuldade de dados disponíveis representativos à realidade brasileira para inserir no banco de dados, considerando que o modelo foi desenvolvido nos Estados Unidos.

Ao trabalhar com o SWAT verifica-se a quantidade de dados gerados para representar a dinâmica e os processos hidrossedimentológicos, por exemplo. Machado, R. (2002) ressalta que esta quantidade de dados pode dificultar o trabalho.

Esse modelo hidrológico evidencia as contribuições das Geotecnologias para estudos ambientais e sociais; assim como a importância da Cartografia Temática na representação espacial. Tendo a interface do modelo com o ArView a elaboração de mapas temáticos facilita a visualização espacial e sua interpretação. Com o SWAT é possível simular cenários, isto é, mudando-se o uso da terra com ênfase nas áreas com a vegetação florestal remanescente, o escoamento superficial, a vazão e a perda de solo podem ter respostas diferentes.



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica possibilitou obter referenciais teórico e metodológico para subsidiar a pesquisa. A seguir tem-se a indicação da abordagem metodológica e a descrição das etapas realizadas para atingir os objetivos.

### 4.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para o desenvolvimento da pesquisa foi seguida a proposta metodológica de Libault (1971), com quatro níveis, a saber: compilatório, correlatório, semântico e normativo.

O autor destaca que as pesquisas necessitam de coleta e compilação de dados, consistindo no nível compilatório. Os dados coletados podem ser primários ou secundários. Os dados sobre os tipos de solo foram obtidos principalmente de referências teóricas e os dados climáticos foram coletados na Epagri/Ciram, Epagri de Chapecó e Instituto Nacional de Meteorologia. Também foi realizado levantamento de mapas temáticos e imagens de satélite. Os mapas temáticos elaborados nessa etapa foram: declividades, hipsometria, tipos de solo e uso da terra. Esses mapas, dados climáticos e as características dos tipos de solo foram organizados em um banco de dados. No item 4.3 têm-se mais detalhes da elaboração dos mapas temáticos.

No nível correlatório verifica-se a exatidão e confiabilidade dos dados; os dados são correlacionados e interpretados. Os dados climáticos coletados tiveram que ser comparados em diversas fontes para verificar a confiabilidade dos mesmos. Nesse nível é importante rever as variáveis simples e combinadas ou inserir outras. Outras correlações podem ser inseridas com base na observação e análise de documentos cartográficos.

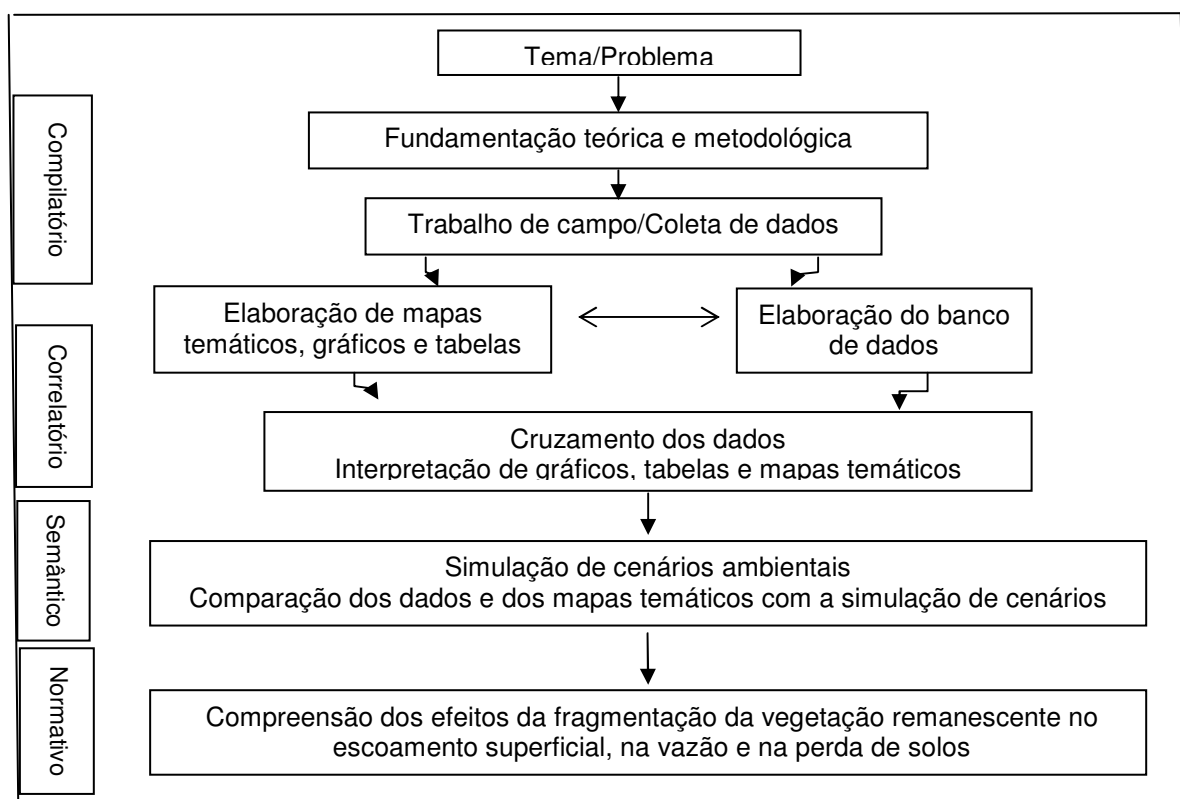
Os níveis compilatório e correlatório determinam os fatos objetivos e a relação existente entre si. A etapa seguinte que vai tratar a combinação sintética das variáveis, considerando o raciocínio geográfico, corresponde ao nível semântico. Nessa etapa, é preciso localizar os problemas parciais, organizando seus elementos em um problema global. Considerando a lógica matemática, deve-se representar o

conjunto dos resultados, utilizando, quando necessário, recursos eletrônicos para se ter a generalização.

No nível semântico, a inclusão ou exclusão de correlações ocorre como decisão lógica, sendo que a escolha resulta do objetivo e da relação entre dado e resultado. Nessa etapa, o procedimento metodológico deve atender às especificidades da Geografia. Em alguns momentos, é preciso considerar os dados utilizados para a elaboração de mapas temáticos e não utilizar a informação obtida da interpretação desses mapas.

O nível normativo corresponde ao quarto nível da pesquisa geográfica. Até esse nível, as variáveis foram registradas, processadas e reduzidas. Para verificação complementar, foram elaborados gráficos quadros e tabelas. Nesse nível pretendeu-se traduzir os resultados em normas aproveitáveis, que podem ser expressas na forma de modelos. Tem-se como resultado da pesquisa, a simulação de cenários para compreender algumas funções ambientais da mata nativa na área de estudo. As etapas metodológicas foram definidas considerando os quatro níveis mencionados anteriormente (Figura 5).

Figura 5 - Etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa



Elaboração: Cristina Otsuschi (2016).

Para verificar o quanto as áreas com vegetação florestal remanescente contribuem com os efeitos hidrológicos, algumas etapas foram essenciais, como: pesquisa bibliográfica, levantamento cartográfico, coleta de dados, elaboração de mapas temáticos, estruturação do banco de dados, a simulação de cenários e análise dos dados.

## 4.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados é uma etapa importante na pesquisa, sendo necessário verificar a confiabilidade dos mesmos. Para a realização desta pesquisa, foram coletados dados climáticos, pedológicos, de vazão, nível e concentração de sedimentos. Esses dados foram utilizados para a calibração e validação do modelo, assim como para simular cenários ambientais.

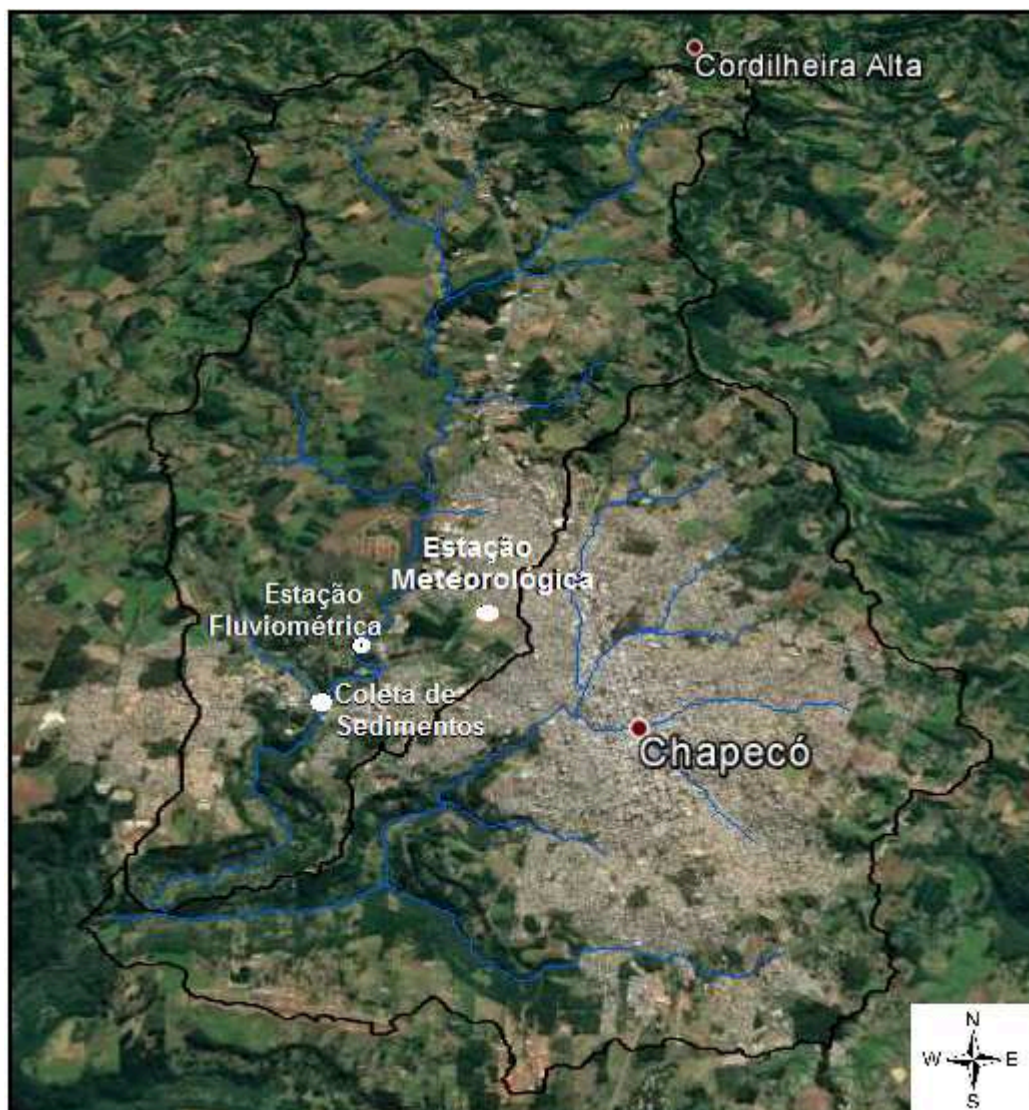
### 4.2.1 Dados climáticos

Os dados climáticos foram adquiridos com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa - EPAGRI de Florianópolis, através do Centro de Informações Meteorológicas e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM. Como havia conflito nos dados entre os dois arquivos enviados, foi necessário buscar outras fontes. Alguns dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET também divergiam dos arquivos fornecidos pela EPAGRI/CIRAM. Desta forma, foi preciso fazer contato direto com a EPAGRI de Chapecó. Essa estação meteorológica localiza-se na bacia hidrográfica do lajeado São José (Figura 6).

Os dados climáticos diários compilados são de precipitação, temperatura, evaporação, radiação solar e umidade relativa do ar entre janeiro de 1985 e dezembro de 2015.

A estação meteorológica encontra-se na bacia hidrográfica do lajeado São José (figura 6), tornando os dados mais representativos para a modelagem. Seria interessante um conjunto de estações desta natureza para coleta de dados, o que mostraria melhor a distribuição das chuvas por exemplo.

Figura 6 – Locais de coleta de amostras de sedimentos e das estações fluviométrica e meteorológica



Fonte: (Google Earth). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

#### 4.2.2 Dados de vazão, nível e concentração de sedimentos

Os dados de vazão, nível e concentração de sedimentos foram fornecidos por Bassi (1990) que fez medidas em campo (Figura 6) entre abril de 1988 a outubro de 1989, visando obter informações sobre a produção de sedimentos conforme o uso da terra na bacia do lajeado São José. Os dados coletados entre dezembro de 1994 e abril de 1997 foram utilizados nas pesquisas enquanto Bassi trabalhava na EPAGRI em Chapecó.

Na medida do possível, os dados de nível e vazão foram coletados diariamente em uma estação fluviométrica localizada no lajeado São José, na área urbana de Chapecó (Figura 6). Essa estação era utilizada pela EPAGRI de Chapecó e depois foi desativada após o término das pesquisas, provavelmente nos primeiros anos da década de 2000. Os dados de sedimentos foram coletados junto ao local de captação de água para tratamento da CASAN, localizado no lajeado São José a jusante da estação fluviométrica.

Os dados diários de vazão e de nível do rio disponíveis são de abril de 1988 a outubro de 1989, de dezembro de 1994 a março de 1995, de junho de 1995 e abril de 1997. Esse recorte temporal foi suficiente para a simulação, calibração e validação do modelo SWAT.

Os dados diários de concentração de sedimentos disponíveis são de abril de 1988 a outubro de 1989, fevereiro a junho de 1990, outubro de 1992 a julho de 1993, junho de 1995 a janeiro de 1996, maio de 1996 a abril de 1997. Esses dados foram utilizados para simular e calibrar o modelo em relação ao transporte de sedimentos pelos cursos d'água.

#### **4.2.3 Trabalho de Campo**

O trabalho de campo consistiu em visitas *in loco* nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios para verificar o uso da terra e para coleta de dados na Epagri e na Prefeitura Municipal de Chapecó.

### **4.3 ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS**

Os *softwares* ArcGis, Quantum GIS (QGIS) e MicroStation foram utilizados para a elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra, tipos de solo, hidrografia, declividades e hipsométricos.

#### **4.3.1 Mapas de uso da terra**

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1989, 1996, 2010 e 2015 na área de estudo, foram realizados procedimentos de

sensoriamento remoto e classificação de imagens, através de cenas de imagens orbitais dos satélites LandSat TM-5 e LandSat 8, *datum* WGS-84. Essas imagens foram obtidas nos sítios eletrônicos do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

As cenas de imagens (Quadro 2) são do mês de setembro de cada ano com exceção de 2015, pois em função da ocorrência de nuvens sobre a faixa imageada na área de estudo, foi preciso escolher a cena do mês de junho. Bassi (1990) verificou que geralmente de 15 de dezembro a 15 de abril e de 15 de julho a 30 de setembro, na bacia do lajeado São José o solo encontra-se com cobertura. Procurou-se padronizar as cenas em que fosse um período com solo coberto para a elaboração de uso e cobertura da terra, no caso, o mês de setembro.

Quadro 2 – Características das cenas orbitais utilizadas

Ano	Satélite	Data das cenas	Órbita (path/row)	Bandas utilizadas	Resolução espacial (multiesp.)	Composições RGB utilizadas	
						Natural	Falsa Cor
1989	LandSat TM-5	20/09/1989	222/079	1, 2, 3, 4 e 5	30m	3-2-1	5-4-3
1996	LandSat TM-5	07/09/1996	222/079	1, 2, 3, 4 e 5	30m	3-2-1	5-4-3
2010	LandSat TM-5	30/09/2010	222/079	1, 2, 3 4, e 5	30m	3-2-1	5-4-3
2015	LandSat 8	08/06/2015	222/079	6,5,4,3 e 2	30m	4-3-2	6-5-4

Fontes (Imagens de satélite LandSat TM-5 e LandSat 8. Elaboração: Sandra Deodoro, 2016).

Inicialmente foi pensado em comparar os dados de concentração de sedimentos estudados por Bassi (1990), mas com o desenvolvimento da pesquisa verificou-se que na calibração para concentração de sedimentos, os valores provavelmente ficaram superestimados para o tamanho da área de estudo. Optou-se então, em trabalhar com perda de solo e não com sedimentos transportados para simular os cenários ambientais. Outra hipótese seria o procedimento adotado por Bassi (1990) para determinar a concentração de sedimentos no lajeado São José.

Os mapas de uso da terra foram elaborados com as seguintes classes temáticas: mata nativa, silvicultura, pasto, cultivo, solo exposto, massa de água e edificações.



O classificador Máxima Verossimilhança (Max-Ver), por pixel, foi utilizado para obter os polígonos das tipologias de uso e cobertura da terra. Esse classificador considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes utilizando parâmetros estatísticos. Assume que todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica (INPE, 2008).

Esse classificador pode ser considerado eficiente porque as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de  $n$  bandas, como também a localização do centro de cada classe (MENESES, ALMEIDA, 2012). Desta forma, empregou-se esse classificador porque possibilitou escolher regiões homogêneas na área de estudo.

As nascentes, as margens de rios, as encostas e as de topo de morro, que são consideradas Áreas de Preservação Permanente, denominadas de APP, foram delimitadas de acordo com as legislações federal, estadual e municipal em vigor. Dessa forma, foram considerados o novo Código Florestal Nacional - Lei Federal nº 12651/2012 - (BRASIL, 2012), com o Código de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina - Lei nº 16342/2014 – (SANTA CATARINA, 2014) e o Plano Diretor Municipal de Chapecó - Lei Complementar nº 541/2014 – (CHAPECÓ, 2014b). Para a identificação de APP no Sistema de Informação Geográfica (SIG), seguiu-se a proposta metodológica de Oliveira e Fernandes Filho (2013) e Peluzio, Santos e Fiedler (2010).

O mapa de uso da terra de 2015 serviu como referência para elaborar três mapas temáticos: simulação das Áreas de Preservação Permanente, substituição dos fragmentos menores ou iguais a um hectare de vegetação florestal nativa por áreas de cultivo e outro, substituindo estes fragmentos por edificações/construções.

A escolha em substituir áreas com remanescentes da mata nativa por cultivo e edificações, teve como objetivos mostrar os impactos do desmatamento com a substituição da mata nativa pelos usos agrícolas ou de ocupação; assim como, ressaltar a importância em ampliar a cobertura florestal e não simplesmente, suprimir a mata pelo tamanho ou por estar descaracterizada. Ressalta-se a tendência da ocupação na bacia do lajeado São José.

A escolha de fragmentos de vegetação menores ou iguais a um hectare foi uma referência como “menor” medida para analisar se há mudança significativa nas funções ambientais, considerando que não foi localizada na literatura uma medida

mínima para verificar impactos e considera-se que a soma de todos os fragmentos suprimidos e substituídos mostraria resultados nas bacias hidrográficas estudadas.

#### **4.3.2 Mapa de tipos de solo**

O mapa sobre os tipos de solo foi feito com a base cartográfica do mapeamento de solos de Santa Catarina realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA em 2004 na escala 1:250.000. Os principais tipos de solo identificados na área de estudo são: Cambissolo Háplico, Latossolo Bruno, Latossolo Vermelho, Nitossolo Vermelho e a área urbana também foi representada, pois tem importância em relação aos processos de infiltração, escoamento superficial entre outros no ciclo hidrológico.

#### **4.3.3 Mapas de declividades e hipsométrico**

As cartas topográficas de 2004 com escala 1:50.000 foram utilizadas para a elaboração dos mapas temáticos de declividades e hipsométrico, sendo a base cartográfica para a hidrografia e às curvas de nível equidistantes em 20m.. Essas cartas topográficas foram disponibilizadas pela EPAGRI junto com o Centro de Informações e de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM.

Optou-se em trabalhar com essa base cartográfica, após verificar que a base da hidrografia da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável de 2013 apresentava cursos d' água que não condizem com a realidade ou estavam em outra posição, o que poderia comprometer a identificação e localização das Áreas de Preservação Permanente.

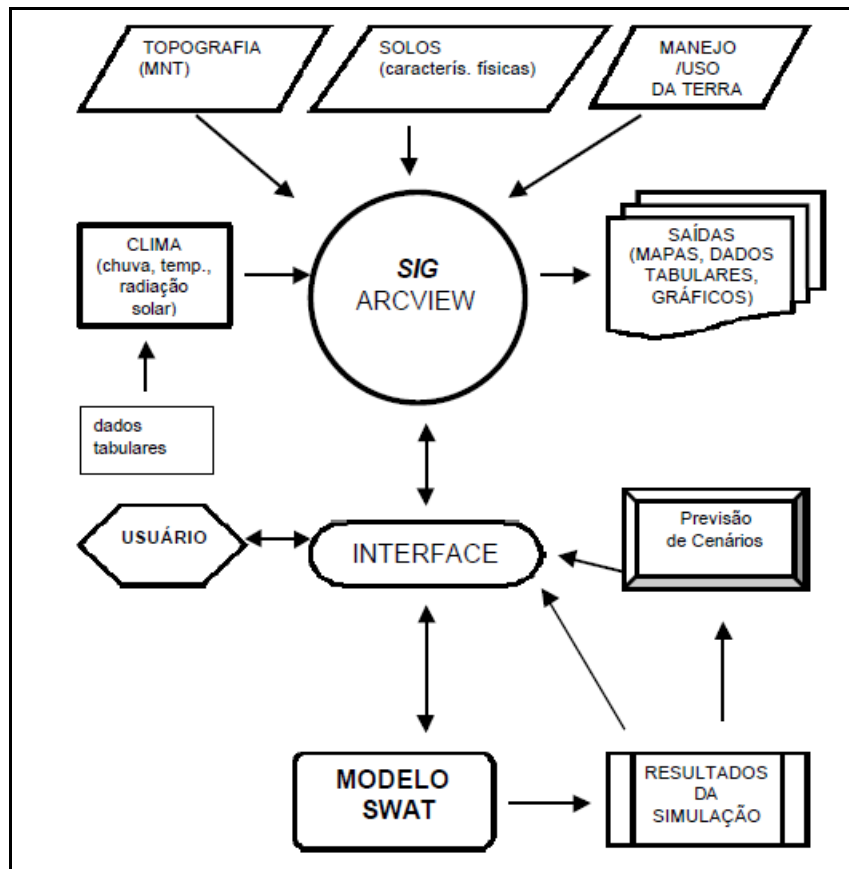
O mapa de declividades elaborado possui as seguintes classes clinográficas: 0 – 5%, 5 – 15%, 15 – 25%, 25 – 45% e acima de 45%. Esses intervalos foram utilizados considerando um dos critérios para definição das Áreas de Preservação Permanente, conforme a legislação ambiental mencionada nos itens 3.2 e 4.3.1, com destaque ao Plano Diretor de Chapecó (CHAPECÓ, 2014b). O mapa hipsométrico foi elaborado com as seguintes classes altimétricas: menor a 520m,

520 - 600m, 600 – 680m, 680 – 760m e 760 – 820m. Considerando a amplitude altimétrica de 350m, foram definidos cinco intervalos para representar as altimetrias.

#### 4.4 O MODELO SWAT

Para realizar a modelagem no SWAT (Figura 7) foram necessários dados tabulares sobre precipitação, vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, mapas de tipos de solo e de uso da terra, assim como o Modelo Digital de Elevação. Isso porque o modelo possui uma estrutura de comandos que divide a bacia hidrográfica em unidades menores e homogêneas considerando os aspectos climáticos, topográficos, vegetativos, pedológico e de uso da terra, possibilitando a simulação de escoamento superficial, vazão, sedimentos e nutrientes em bacias hidrográficas (ARNOLD et al., 2012).

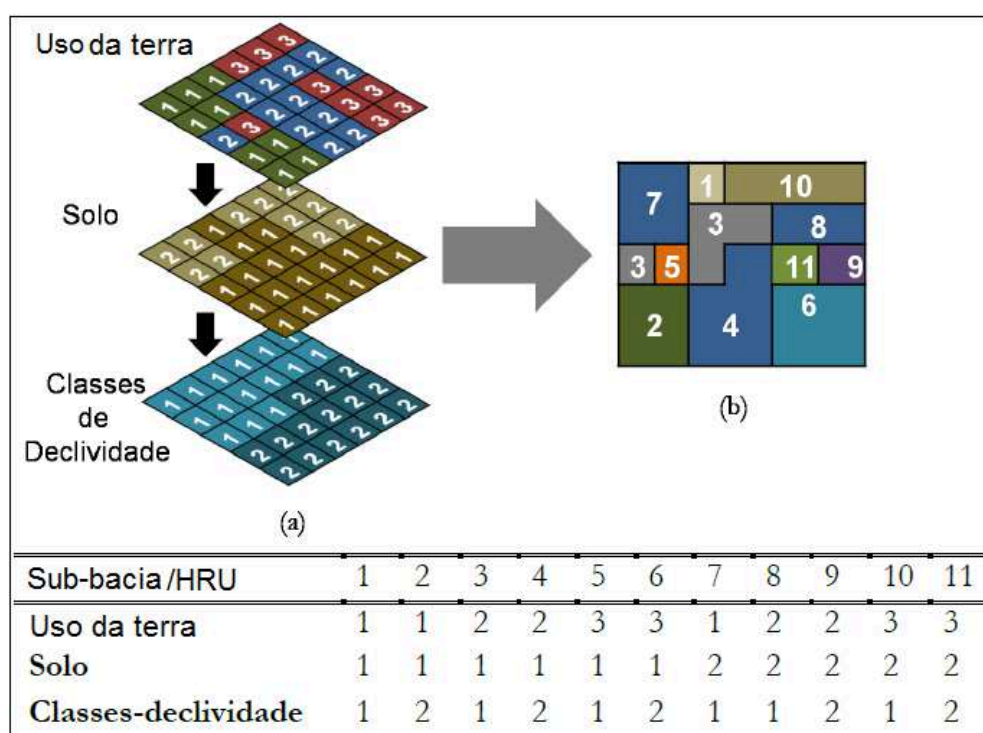
Figura 7 - Etapas e “procedimentos para geração da base de dados e simulações no modelo SWAT via SIG”



Fonte: (Machado, R., 2002).

O modelo *SWAT* pode simular a quantidade de escoamento superficial, de vazão e de perda de solos conforme as características do solo, declividades e uso da terra. Para maior detalhamento, esse modelo divide a bacia hidrográfica em sub-bacias e em áreas menores que são conhecidas como Unidades de Resposta Hidrológica - HRU (Figura 8). Para a delimitação das sub-bacias foram consideradas as seguintes classes de declividade: 0 – 6%, 6 - 11%, 11 - 17%, 17 - 25% e > 25%.

Figura 8 - Divisão em sub-bacias e HRU. (a) Sobreposição de mapas temáticos resultando (b) no mapa de sub-bacias ou em Unidades de Resposta Hidrológica



Fonte: Adaptado de Silva, J. (2013).

A combinação entre características do tipo de solo, da declividade e do uso da terra permitem diferenciar e identificar as sub-bacias, assim como as unidades menores que são as Unidades de Resposta Hidrológica - HRU. O escoamento superficial, a vazão e a perda de solo podem variar em cada unidade espacial, caracterizando melhor a relação entre os processos envolvidos. Nesta pesquisa foram definidas quarenta sub-bacias.

As áreas denominadas de Unidades de Resposta Hidrológica - HRU podem ser compreendidas como “[...] áreas acidentadas dentro de sub-bacias que são formadas por uma única cobertura de terra, solo e combinações de gestão” (NEITSCH et al., 2011). Foram identificadas 1.189 Unidades de Resposta Hidrológica, considerando os objetivos dessa pesquisa, optou-se trabalhar com as 40 sub-bacias para mostrar os efeitos da fragmentação da vegetação através do uso da terra.

O SWAT pode simular o ciclo hidrológico em duas fases, a terrestre e a aquática. A fase terrestre trata do controle de água, sedimento, nutriente e descarga de pesticidas até chegar ao curso d’água. A fase aquática do ciclo hidrológico caracteriza-se pela “[...] movimentação da água sedimentos, etc. pela rede de canais da bacia hidrográfica até a descarga” (NEITSCH et al., 2011).

Os autores ainda destacam que na fase terrestre a quantidade de água produzida na bacia hidrográfica é determinada pela seguinte fórmula (Equação 1)<sup>1</sup> do balanço hídrico:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Em que:

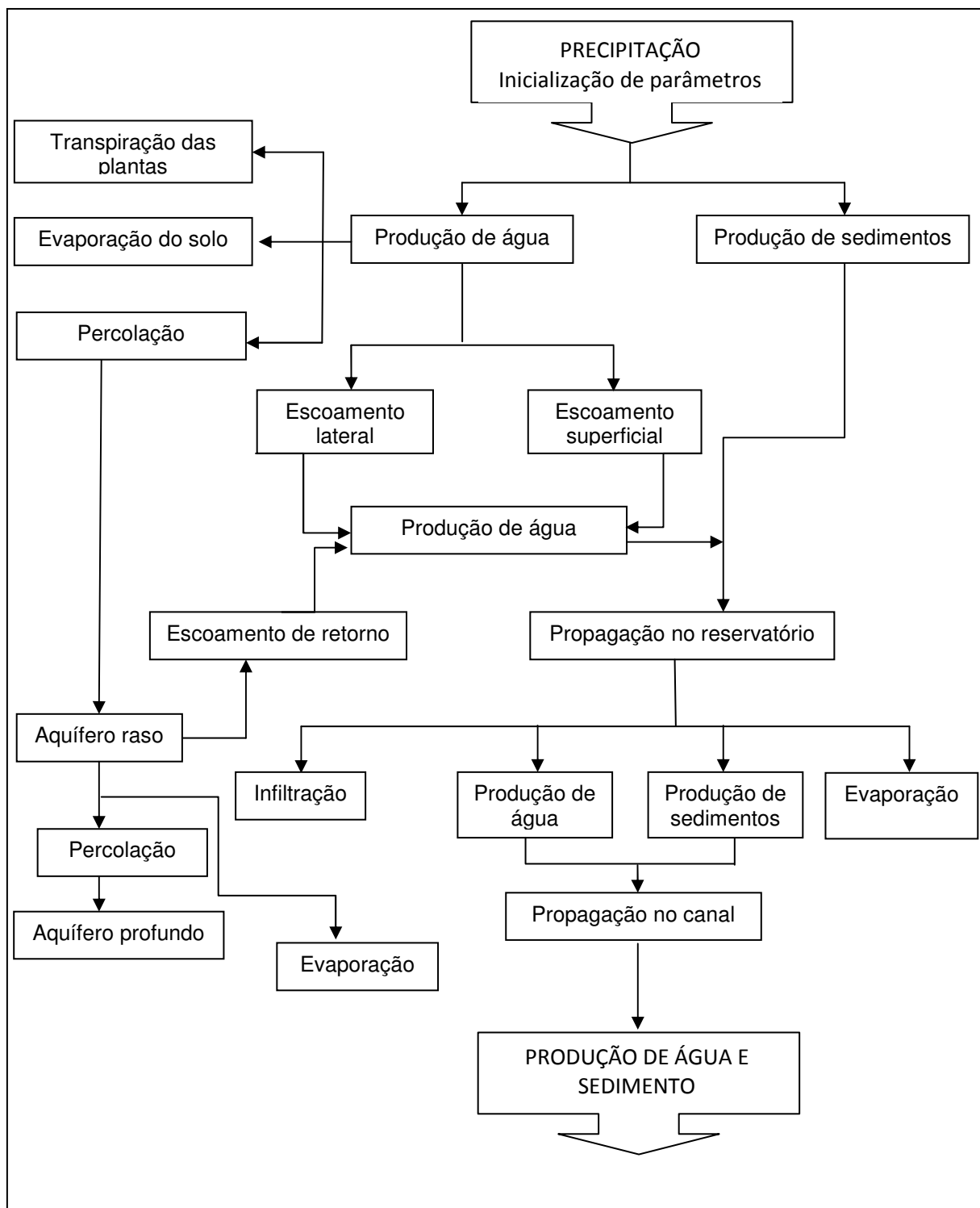
$SW_t$  = quantidade final de água em mm no solo;  $SW_o$  = quantidade de água em mm no solo;  $t$  = tempo medido em dias;  $R_{day}$  = quantidade de precipitação em mm;  $Q_{surf}$  = quantidade de escoamento superficial em mm;  $E_a$  = quantidade de evapotranspiração em mm;  $w_{seep}$  = percolação em mm e  $Q_{gw}$  = fluxo de retorno – ascensão capilar em mm no dia.

De acordo com Neitsch et al. (2011), o modelo SWAT (Figura 9) necessita de informações específicas sobre as propriedades do solo, do clima, da topografia, da vegetação e das práticas de gestão do solo. Verifica-se nessa figura a relação entre os diversos processos hidrossedimentológicos de uma bacia hidrográfica. Os parâmetros considerados para o desenvolvimento dessa pesquisa são apresentados a seguir.

---

<sup>1</sup> Todos parâmetros e equações foram retirados de Neitsch et al. (2011).

Figura 9: Fluxograma esquemático da organização do SWAT



Fonte: Machado, R. (2002 modificado de King et al., 1996).

A erosão e a produção de sedimentos foram simuladas com base na quantidade de escoamento superficial, através da Equação Universal de Perda de Solo Modificada - MUSLE (WILLIAMS, 1975), sendo possível determinar a perda de solo. (Equação 2):

$$Sed = 11,8.(Q_{surf}.q_{peak}.area_{hru})^{0,56}.K_{USLE}.C_{USLE}.P_{USLE}.L_{SUSLE}.CFRG \quad (2)$$

Em que:

$Sed$  – perda do solo por unidade de área (Ton);  $Q_{surf}$  – é o volume de escoamento superficial (mm ha<sup>-1</sup>);  $q_{peak}$  – é o índice máximo de escoamento (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);  $area_{hru}$  – área de cada unidade de resposta hidrológica (ha);  $K_{USLE}$  – fator de erodibilidade do solo;  $C_{USLE}$  – fator de uso e manejo;  $P_{USLE}$  – fator práticas conservacionistas;  $L_S$  – fator topográfico;  $CFRG$  – fator de fragmento bruto.

Para representar o transporte de sedimentos nos canais fluviais, é importante considerar os processos de erosão e de deposição. A velocidade de deposição das partículas do sedimento deve ser considerada para determinar a deposição dentro do canal até o exutório da bacia (MELO NETO et al., 2014). Considerou-se então, a lei de Stokes para o cálculo da velocidade de sedimentação e o conceito do poder de luxo de Bagnold (1977), para verificar a degradação do sedimento no canal.

O Método Racional modificado foi utilizado para calcular a vazão de pico. Para o cálculo do volume do escoamento superficial foi utilizado o método *Curve Number* – CN, proposto pelo *Soil Conservation Service*. Porto (1995, p. 116) informa que esse parâmetro precisa de informações sobre o “[...] tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da umidade antecedente”. Para o cálculo do escoamento superficial foi utilizada a fórmula (Equação 3):

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (3)$$

Em que:

$Q_{surf}$ : escoamento acumulado ou excesso de precipitação em mm;  $R_{day}$ : intensidade da precipitação em mm para o dia;  $I_a$ : armazenamento superficial em mm, interceptação e infiltração antes do escoamento e  $S$ : parâmetro de retenção

medido em mm que varia conforme o tipo de solo, o uso da terra, a declividade e as mudanças na umidade do solo.

A fórmula do parâmetro de retenção é expressa em (Equação 4):

$$S = 25,4 \left[ \frac{100-10}{CN} \right] \quad (4)$$

Sendo que CN é o número da curva para o dia. Machado, R. (2002) e Lelis (2011), destacam que o potencial de retenção varia entre 1 e 100. Quanto mais próximo do valor 1 a área é mais permeável e quanto mais próximo ao 100, o potencial de armazenamento é menor, gerando escoamento superficial. Geralmente as abstrações iniciais ( $I_a$ ) se aproximam a 0,2; resultando em (Equação 5):

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - 0,2S)^2}{(R_{\text{day}} + 0,8S)} \quad (5)$$

Considerando a relação entre a infiltração e as características dos tipos de solo, estes são classificados de acordo com os grupos hidrológicos de solos (Quadro 3), classificação proposta pelo *Natural Resource Conservation Service* – NRCS – dos Estados Unidos. O NRCS compreende “[...] grupo hidrológico como um grupo de solos com potencial de escoamento semelhante sob tempestade e condições de cobertura similares” (NEITSCH et al., 2011, p. 127).

Na área de estudo o solo Cambissolo Háplico,<sup>2</sup> Nitossolo Vermelho, Latossolo Bruno e Latossolo Vermelho pertence ao grupo hidrológico de solo classe C, área urbana à classe D.

A evapotranspiração é outro parâmetro considerado no modelo que resulta da soma entre a evaporação do solo e a transpiração das plantas. No SWAT é possível utilizar dados de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e

<sup>2</sup> Dados referentes às características de cada tipo de solo foram coletados da literatura e das seguintes pesquisas: BLAINSKI, É. et al. **Relatório técnico final** - sistema de monitoramento hidrológico e modelagem ambiental da bacia hidrográfica do rio Camboriú - SC. Florianópolis. 2016. BLAINSKI, É. **Utilização do intervalo hídrico ótimo do solo para manejo de área irrigada**. 2007. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007. BLAINSKI, É. **Indicadores de qualidade física em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 2010. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.



velocidade do vento para determinar a evapotranspiração potencial. A entrada desses dados depende do método a ser utilizado.

Quadro 3 - Grupos hidrológicos de solo

CLASSES	CARACTERÍSTICAS
A	Potencial de escoamento baixo. Os solos possuem alta taxa de infiltração, são profundos, bem drenados e com elevada taxa de transmissão de água.
B	Os solos têm moderada taxa de infiltração, variando de moderadamente profundos a profundos, moderadamente bem drenados a solos bem drenados com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Moderada taxa de transmissão de água.
C	A taxa de infiltração é lenta quando os solos estão úmidos. A taxa de transmissão de água é lenta. Solos com camada que dificulta o movimento descendente da água ou possui textura moderadamente fina a fina.
D	Com alto potencial de escoamento, os solos desse grupo têm taxa de infiltração muito lenta quando estão completamente molhados. Geralmente são solos argilosos com taxa de transmissão de água muito lenta.

Fonte: (Neitsch *et al*, 2011, p. 127).

O modelo disponibiliza três métodos para estimar a evapotranspiração potencial: Penman e Monteit, Hargreaves e Samani, e o de Priestle e Taylor. Para esta pesquisa a evapotranspiração potencial foi definida com o uso do método de Penman-Monteith e o ciclo hidrológico simulado pelo SWAT foi baseado na equação do balanço hídrico, conforme apresentado na equação 1.

Posteriormente, foram calculadas a evaporação do solo e a transpiração das plantas. A evaporação do solo é expressa pela seguinte fórmula (Equação 6):

$$E_s = E'_o \cdot cov_{sol} \quad (6)$$

Em que:

$E_s$ : evaporação do solo em determinado dia;  $E'_o$ : evapotranspiração potencial ajustada para a evaporação de água livre no dossel e  $cov_{sol}$ : índice de cobertura do solo.

O índice de cobertura do solo é definido pela fórmula (Equação 7):

$$cov_{sol} = \exp (- 5,0 \times 10^{-5} \cdot CV) \quad (7)$$

Em que:

$cov_{sol}$ : cobertura do solo; CV: biomassa e resíduo na camada superficial do solo

A transpiração das plantas é definida com (Equação 8):

$$Ep = \frac{(E_o) (LAI)}{3} \quad (8)$$

Sendo:

Ep: transpiração das plantas em mm/dia;  $E_o$ : evapotranspiração potencial e LAI: índice simulado de área de folha.

Outro parâmetro importante para conhecer a relação infiltração e escoamento superficial, é a percolação, sendo calculada para cada horizonte do solo com base na seguinte fórmula (Equação 9):

$$W_{perc,ly} = SW_{ly,excess} \cdot (1 - \exp \left[ \frac{-\Delta t}{TT_{perc}} \right]) \quad (9)$$

Sendo:

$w_{perc,ly}$ : quantidade de água em mm que percola no horizonte de solo subjacente em um dia;  $SW_{ly,excess}$ : volume de água drenável no horizonte do solo em um dia em mm;  $\Delta t$ : intervalo em horas e  $TT_{perc}$ : tempo de duração da percolação (h).

A percolação ocorre verticalmente, com o acúmulo de água em uma camada impermeável no subsolo tem-se o escoamento lateral, um processo importante a ser analisado através de (Equação 10):

$$q_{lat} = H_0^{vw} \quad (10)$$

Em que:

$q_{lat}$ : escoamento lateral;  $H_0$ : espessura do horizonte saturado do comprimento de rampa projetado em m;  $V$ : velocidade do escoamento de saída em m/h e  $W$ : largura do declive em m.

Outro parâmetro é o escoamento ou fluxo de retorno do aquífero raso, que compreende “[...] a movimentação vertical de água livre ao longo dos macroporos até o horizonte do solo não saturado [...], em que a taxa de precipitação ou irrigação excede a taxa de infiltração vertical dentro das partículas do solo” (NEITSCH et al., 2011, p. 181), sendo expressa pela fórmula (Equação 11):

$$a_{qsh,i} = a_{qsh,i-1} + w_{rchrg,sh} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh} \quad (11)$$

Em que:

$a_{qsh,i}$ : volume de água armazenada no aquífero raso no dia;  $w_{rchrg,sh}$ : recarga do aquífero raso em mm;  $Q_{gw}$ : escoamento de retorno em mm;  $w_{revap}$ : infiltração para o aquífero profundo e  $w_{pump,sh}$ : água retirada para uso.

O aquífero raso caracteriza-se por não ser confinado e por contribuir para o fluxo de água superficial do canal principal, enquanto o aquífero confinado é considerado profundo. Esses foram os parâmetros considerados para caracterizar o processo de produção de água para a pesquisa.

#### 4.5 A BASE DE DADOS

Os dados adquiridos foram sistematizados em planilhas do *Microsoft Office Excel* para serem importados para o *software ArcGis*, em que foi utilizada também, a extensão *Spatial Analyst*, tendo o *ArcSWAT* uma integração com o *ArcGis* através do *ArcMap*. Para a inserção dos dados na base de dados do SWAT foi criado um projeto intitulado “SWAT” onde foram feitas todas as etapas de calibração, validação e simulação dos cenários ambientais. Foi realizado o cadastramento da localização

da estação meteorológica de Chapecó a 27°05'18,65"S e a 52°39'6,21"W, para depois inserir os dados climáticos e cartográficos.

Após a tabulação dos dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar de 1985 a 2015, foram realizadas análises estatísticas que foram inseridas na base de dados do SWAT, pois essas análises são importantes quando faltam alguns dados em determinados dias ou períodos, sendo possível preencher estas lacunas.

A intensidade máxima de chuva em 30 minutos - EI30- (Tabela 1) pode ser considerada uma das variáveis mais importantes para caracterizar o comportamento hidrossedimentológico.

De acordo com Machado, R. (2002), a chuva intensa de 30 minutos somente é determinada para os dias em que há escoamento superficial. Essa informação foi obtida indiretamente com equações que possuem como dado básico a precipitação máxima diária registrada por pluviômetros.

Tabela 1 – Resumo da precipitação máxima diária registrada na estação meteorológica de Chapecó e as variáveis derivadas das conversões para obtenção da intensidade máxima de chuva em 30 minutos (EI30)

MÊS	Precipitação MAX diária-mm	Conversão de variáveis		
		Diária/24h	Diária/1h	1h/30min
JAN	102,6	127,2	44,5	34,29
FEV	91,6	113,6	39,8	30,61
MAR	90,9	112,7	39,5	30,38
ABR	133,3	165,3	57,9	44,55
MAIO	148,9	184,6	64,6	49,76
JUN	140,7	174,5	61,1	47,02
JUL	141	174,8	61,2	47,12
AGO	106	131,4	46,0	35,42
SET	118,8	147,3	51,6	39,70
OUT	117,2	145,3	50,9	39,17
NOV	85,8	106,4	37,2	28,67
DEZ	107,1	132,8	46,5	35,79

Fonte dos dados: (Epagri/Chapecó, 2016). Elaboração: Éverton Blainski.

Os dados diários de radiação solar originalmente registrados em Wats.m<sup>-2</sup> foram convertidos para MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> e calculado a média mensal para o intervalo de

30 anos (Tabela 2). Posteriormente, os dados médios de radiação solar diária mensal foram inseridos na base de dados do modelo hidrológico.

Tabela 2 – Radiação solar média diária registrada na estação meteorológica de Chapecó entre 1989 e 2010

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Radiação	17,84	17,24	14,68	10,17	7,67	6,63	7,89	9,42	11,59	15,28	18,11	19,97

Fonte dos dados: (Epagri/Chapecó, 2016). Elaboração: Éverton Blainski.

Para a determinação da evapotranspiração da área de estudo foram inseridos a média das temperaturas máximas e das temperaturas mínimas mensais, assim como o desvio padrão destas variáveis (Tabela 3). Outra variável importante para determinar a evapotranspiração é a umidade relativa do ar, em que foram inseridos no modelo os valores médios diários em cada mês.

Tabela 3 – Resumo das temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa registrados na estação meteorológica de Chapecó entre 1985 e 2015

MÊS	Temperatura do ar °C		Desvio padrão		Umidade relativa - %
	MAX	MIN	T <sub>MAX</sub>	T <sub>MIN</sub>	Média
JAN	29,0	18,9	3,01	1,93	73,3
FEV	28,6	18,7	2,95	2,00	75,0
MAR	27,9	17,8	2,86	2,02	74,6
ABR	25,1	15,4	3,74	3,17	76,0
MAI	21,2	12,0	3,73	3,72	78,9
JUN	19,8	11,0	4,35	4,31	78,8
JUL	19,9	10,2	4,79	4,76	74,5
AGO	22,7	12,1	5,06	4,64	68,0
SET	23,1	12,9	4,73	4,07	71,2
OUT	25,5	15,3	3,81	2,87	72,2
NOV	27,5	16,4	3,09	2,68	68,2
DEZ	28,7	18,2	3,39	2,35	69,6

Fonte dos dados: (Epagri/Chapecó, 2016). Elaboração: Éverton Blainski.

Durante a tabulação dos dados foi verificado que faltavam dados em alguns dias no ano de 2009. Para o modelo SWAT isso não é considerado problema, pois os valores de médias mensais de velocidade média do vento ( $m,s^{-1}$ ) foram obtidos dos dados diários e esses dados foram inseridos na base de dados do modelo hidrológico para preenchimento de falhas na série histórica (Tabela 4).

Tabela 4 – Velocidade média do vento  $\text{m.s}^{-1}$  registrada na estação meteorológica de Chapecó entre 1985 e 2015

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Veloc	1,42	1,37	1,23	1,36	1,37	1,58	1,67	1,65	1,65	1,53	1,44	1,42

Fonte: (Epagri/Chapecó, 2016). Elaboração: Éverton Blainski.

Esse procedimento de preenchimento de lacunas de dados é aplicado em outros tipos de dados climáticos. Os dados climáticos (Tabela 5) foram inseridos na base de dados do SWAT para compor o arquivo “XGEN”, sendo utilizado para o preenchimento de falhas na série histórica correspondente ao período definido em cada simulação.

Tabela 5 – Resumo dos dados climáticos de Chapecó entre 1985 e 2015 inseridos na base de dados do SWAT

VARIÁVEL	MÊS											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TMPMX	29,0	28,6	27,9	25,1	21,2	19,8	19,9	22,7	23,1	25,5	27,5	28,7
TMPMN	18,9	18,7	17,8	15,4	12,0	11,0	10,2	12,1	12,9	15,3	16,4	18,2
Dp_TMPMX	3,0	2,9	2,9	3,7	3,7	4,4	4,8	5,1	4,7	3,8	3,1	3,4
Dp_TMPMN	1,9	2,0	2,0	3,2	3,7	4,3	4,8	4,6	4,1	2,9	2,7	2,3
PCPMM	193,0	194,1	146,0	185,8	163,7	218,0	157,1	131,6	211,2	249,1	155,0	182,2
PCPSTD	13,1	14,5	12,0	16,0	14,6	18,3	13,4	11,5	15,1	17,0	11,8	13,4
PCPSKW	3,1	2,8	3,8	3,8	4,3	4,0	4,1	3,9	2,9	3,0	3,0	3,4
PR_W1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
PR_W2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
PCPD	12,8	11,4	9,6	9,6	8,9	10,1	9,1	8,0	11,2	12,3	9,6	11,9
RAINHHMX	34,3	30,6	30,4	44,5	49,8	47,0	47,1	35,4	39,7	39,2	28,7	35,8
SOLARAV	17,8	17,2	14,7	10,2	7,7	6,6	7,9	9,4	11,6	15,3	18,1	20,0
DEWPT	19,4	19,4	18,1	16,2	13,4	12,2	11,0	10,2	13,0	15,7	16,3	18,1
WNDVAV	1,4	1,4	1,2	1,4	1,4	1,6	1,7	1,7	1,7	1,5	1,4	1,4

Fonte: (EPAGRI/Chapecó, 2016). Elaboração: Éverton Blainski.

Em que: TMPMX: média da temperatura máxima no mês; TMPMN: média da temperatura mínima no mês; Dp\_TMPMX: desvio padrão da temperatura máxima; Dp\_TMPMN: desvio padrão da temperatura mínima; PCPMM: precipitação média no período; PCPSTD: desvio padrão da precipitação; CPSKW: coeficiente de deformidade da precipitação diária mensal; PR\_W1: probabilidade de ocorrência de um dia seco seguido de um dia chuvoso; PR\_W2: probabilidade de ocorrência de dois dias secos consecutivos; PCPD: número médio de dias com chuva no mês; RAINHHMX: máxima intensidade de chuva ocorrida em meia hora; SOLARAV: radiação solar média diária por mês; DEWPT: temperatura de orvalho média mensal; WNDVAV: velocidade média mensal do vento.

A série histórica compreendeu 30 anos de dados climáticos diários entre 1985 e 2015. Esses dados foram necessários para simular a vazão, a perda de solo e o escoamento superficial, conforme o processo de fragmentação da mata nativa.

Como o SWAT é um modelo hidrológico é preciso saber se a simulação é confiável, desta forma o desempenho do modelo foi verificado por estatísticas de precisão, o coeficiente de Nash-Sutcliffe (*NSE*), (Equação 12) e o coeficiente de massa residual (*CMR*), conforme a fórmula (Equação 13).

O coeficiente de Nash-Sutcliffe varia desde negativo infinito a 1. Quando o coeficiente é igual a 1, significa que o ajuste foi perfeito, portanto, quanto mais próximo de 1 melhor será o desempenho do modelo. Valores de  $NSE < 0$  demonstram que a utilização da média dos valores observados é melhor do que os resultados simulados (BRIGHENTI, BONUMÁ, CHAFFE, 2016).

$$NSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q^{mean})^2} \right] \quad (12)$$

Em que:

*NSE* – coeficiente de Nash e Sutcliffe; *n* – número total de observações;  $Q_i^{obs}$  – vazão observada;  $Q_i^{sim}$  – vazão simulada;  $Q^{mean}$  – média da vazão observada no período.

Para mostrar a tendência média entre os valores simulados e medidos utilizou-se o coeficiente de massa residual - CRM. Quando o CRM=0 indica uma relação perfeita entre os dados medidos e simulados, sendo que os valores positivos indicam uma tendência de subestimativa do modelo e os valores negativos mostram que há uma superestimativa da variável simulada.

$$CMR = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^{sim} - \sum_{i=1}^n Q_i^{obs}}{\sum_{i=1}^n Q_i^{sim}} \right] \quad (13)$$

Em que:

*CMR* é o coeficiente de massa residual;  $Q_i^{sim}$  é a vazão simulada pelo modelo e  $Q_i^{obs}$  é a vazão medida.

Para maior segurança no uso dos dados simulados é necessário verificar o desempenho do SWAT e para isso, foi adotada a escala definida por Santhi et al. (2001) que classifica em: Muito bom:  $NSE \geq 0,65$ ; Bom:  $0,65 > NSE \geq 0,54$  e Satisfatório:  $0,54 > NSE \geq 0,50$ .

Para classificar o Coeficiente de Massa Residual foi utilizada a escala proposta por Liew et al. (2007): Muito bom:  $|CMR| \leq 10\%$ ; Bom:  $10\% < |CMR| \leq 15\%$ ; Satisfatório:  $15\% < |CMR| \leq 25\%$  e Inadequado:  $|CMR| > 25\%$ .

A avaliação de desempenho é importante para garantir a confiabilidade nos cenários simulados e, com base nessa simulação, obter informações que possam auxiliar na redução de problemas ambientais e no planejamento ambiental.

## 4.6 ETAPAS DA MODELAGEM

Antes de fazer a simulação de cenários ambientais foi preciso realizar algumas etapas para que o modelo representasse bem os processos em análise na área de estudo. Para a modelagem os dados inseridos na base de dados foram divididos para serem utilizados em três etapas: aquecimento, calibração e validação.

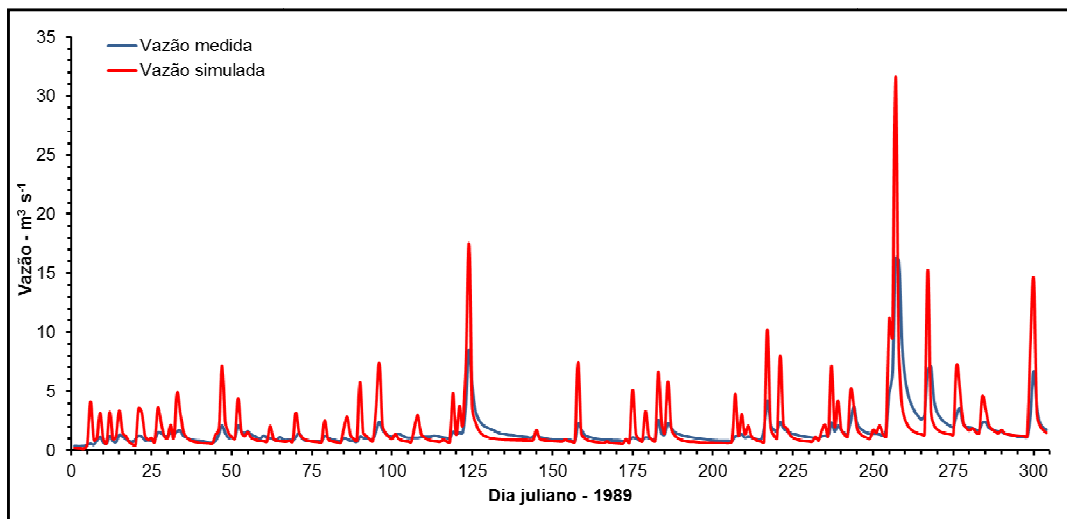
### 4.6.1 Aquecimento do modelo

Para a fase de aquecimento do modelo, foram utilizados dados climáticos diários entre 1985 e 1988. Esses dados não foram contemplados nas etapas de calibração e validação.

Com os dados inseridos na base do modelo foi realizada a simulação inicial do SWAT sem ajuste de calibração (Figura 10). Como foi comentado no item 4.4, a área de estudo foi dividida em 40 sub-bacias com áreas variadas e em 1.189 Unidades de Resposta Hidrológica, conforme a combinação entre as características da declividade, do tipo de solo e do uso da terra. Considerando os objetivos, optou-se em trabalhar com sub-bacias para melhor análise e visualização dos dados.



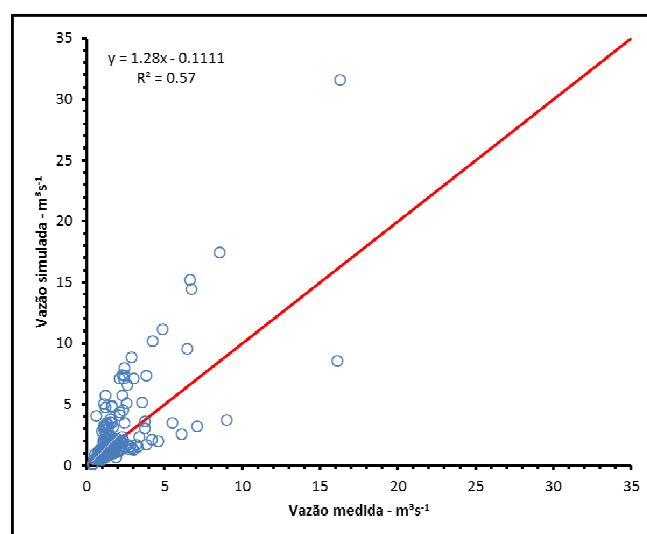
Figura 10 – Comparação entre simulação inicial do SWAT e vazão medida na seção de controle



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

Comparando os dados simulados e a vazão medida por Bassi (1990) observam-se diferenças significativas. Também se verificou que a correlação entre os dados medidos e os simulados possui baixo valor entre as variáveis, pois o  $R^2 = 0,57$  (Figura 11).

Figura 11 – Comparação entre vazão simulada e a medida na seção de controle



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

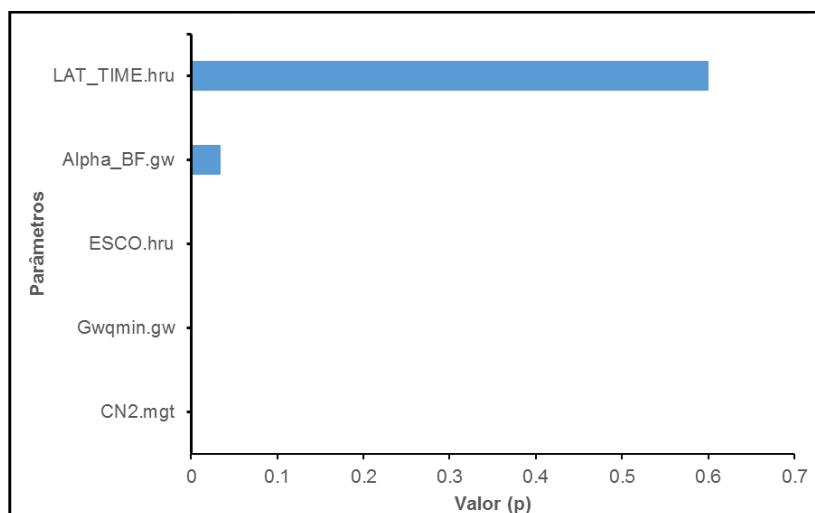
Considerando-se os resultados apresentados nas Figuras 10 e 11 constatou-se que o modelo SWAT não foi capaz de representar o fluxo hídrico de forma satisfatória na área de estudo. Além disso, os valores de Nash (-0,33) e CMR (-0,212) comprovaram o desempenho insatisfatório do modelo, sendo necessário realizar as etapas de calibração e, posteriormente, de validação do modelo.

#### 4.6.2 Calibração

De acordo com Grossi (2003) a calibração do modelo é importante para “[...] reduzir as incertezas dos resultados obtidos através da simulação”. Para calibrar o modelo foram utilizados os dados de vazão entre janeiro de 1989 e outubro de 1989.

A calibração do modelo SWAT foi realizada através do SWAT-CUP, que é um *software* estatístico com diferentes métodos, que possibilita a determinação dos melhores ajustes dos parâmetros para que o modelo represente o fenômeno natural na fase terrestre do ciclo hidrológico. Nessa etapa, foi possível determinar os valores dos parâmetros para realizar a análise de incertezas e definir outros parâmetros estatísticos. Com o *software* SWAT-CUP, foi realizado o teste de sensibilidade visando à identificação de parâmetros mais sensíveis a alteração na vazão (Figura 12).

Figura 12 – Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

Com a análise de sensibilidade, foram definidos como parâmetros considerados mais sensíveis para as variáveis estudadas na escala temporal diária: LAT\_TIME.hru, Tempo de retorno do fluxo lateral (dias); Alpha\_BF.gw, Fator alfa de recessão do fluxo de base (dias); ESCO.hru, Fator de compensação da evaporação do solo; GWQMIN.gw, profundidade de água subterrânea requerida para que o retorno do fluxo ocorra (mm H<sub>2</sub>O) e CN2.mgt, Valor ajustado para o coeficiente curva número. Os parâmetros LAT\_TIME.hru e Alpha\_BF.gw foram os que se destacaram. Os parâmetros foram testados em 600 simulações com um *range* de variação definido tendo como base os intervalos aceitos pelo modelo. O Alpha\_BF.gw

Com o processo de calibração do modelo os parâmetros foram ajustados (Quadro 4) e inseridos na base de dados do SWAT através do software ArcSwat. Dessa forma, os dados medidos foram comparados com os dados simulados pelo modelo após a execução no SWAT.

Quadro 4 – Parâmetros ajustados no modelo SWAT

Parâmetro	Nome	Valor	Variação
CN2.mgt	Valor ajustado para o coeficiente curva número	-0,26	-0,3 a 0,2*
GWQMIN.gw	Profundidade de água subterrânea requerida para que o retorno do fluxo ocorra (mm H <sub>2</sub> O)	987	0 a 5000
ESCO.hru	Fator de compensação da evaporação do solo	0,40	0 a 1
Alpha_BF.gw	Fator alfa de recessão do fluxo de base (dias)	0,04	0 a 1
LAT_TIME.hru	Tempo de retorno do fluxo lateral (dias)	3,15	0 a 180

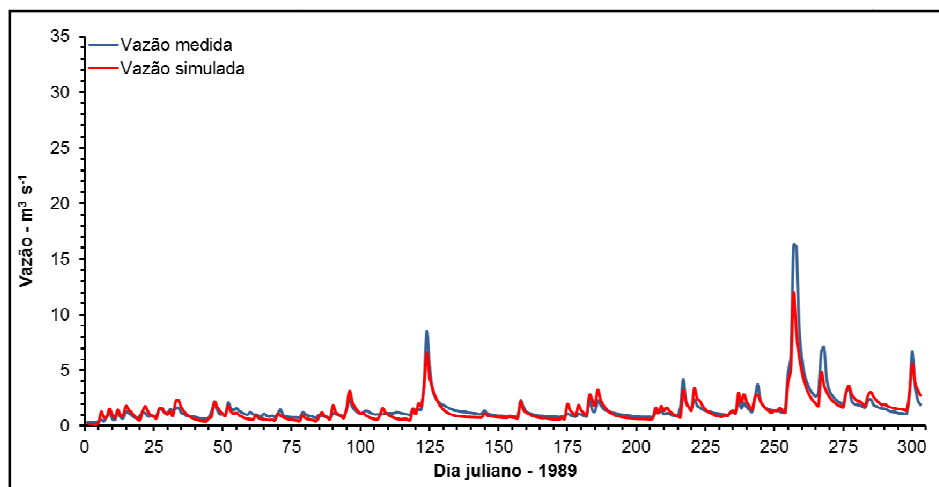
Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

\* Os valores testados para o parâmetro CN2 representam o percentual de variação em relação ao valor original. Assim, o melhor ajuste representa uma redução de 26% do valor cadastrado na base de dados do modelo.

Os resultados de vazão simulados foram comparados com os dados medidos (Figura 13) e para verificar a eficiência da calibração aplicou-se o coeficiente de Nash-Sutcliffe (*NSE*), obtendo-se os valores de *NASH* = 0,82 e de *CMR* = 0,07.

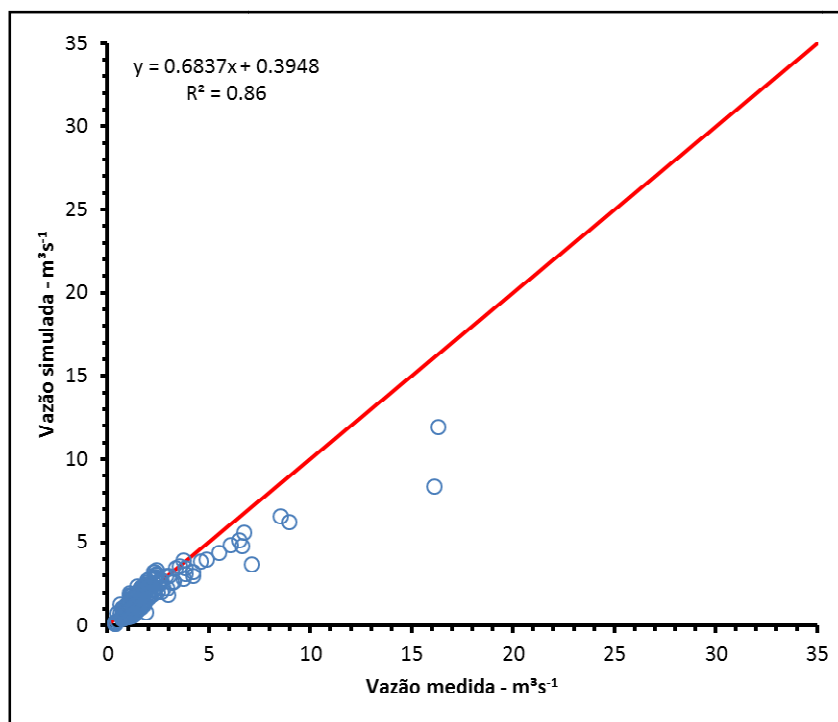
Com a calibração verificou-se que a diferença não é muito acentuada entre os dados medidos de vazão e os dados simulados pelo modelo. Esta constatação também foi observada com os resultados de correlação entre vazão medida e simulada (Figura 14).

Figura 13 – Comparação entre simulação calibrada do SWAT e vazão medida na seção de controle



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

Figura 14 – Comparação entre vazão simulada e medida na seção de controle



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

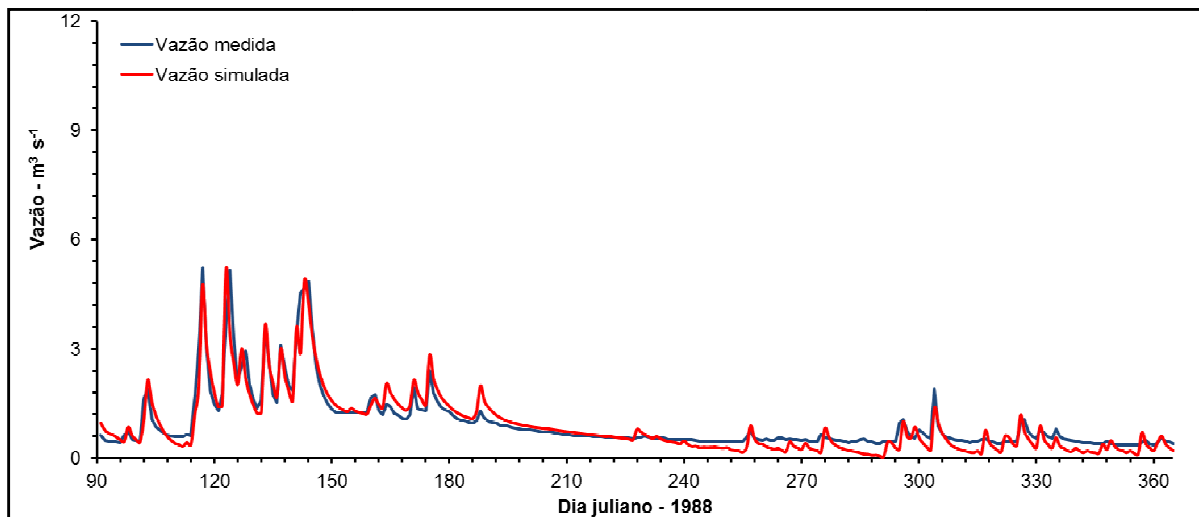
Os resultados de vazão medida e vazão simulada mostram a eficiência do ajuste do modelo em que o  $R^2$  foi de 0,86 indicando alta correlação entre as

variáveis comparadas. Após essas etapas foi preciso validar os parâmetros no modelo hidrológico para situações parecidas.

#### 4.6.3 Validação

Para a validação (Figura 15) foram considerados os dados diários de vazão entre abril e dezembro de 1988, pois de acordo com Lelis (2011) é preciso utilizar dados de outra série temporal.

Figura15 – Comparação entre simulação calibrada do SWAT e vazão medida na seção de controle no período de validação



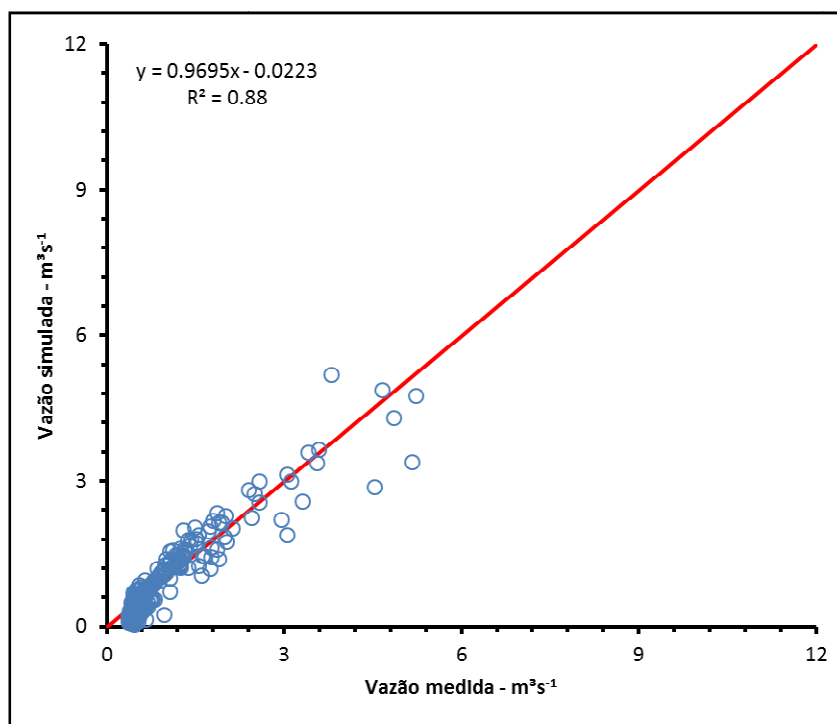
Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

Essa etapa é importante para verificar se os procedimentos realizados durante a calibração tiveram resultados que possibilitam simular processos de escoamento superficial, perda de solo e vazão, assim como de cenários ambientais conforme mudança no uso da terra em relação à vegetação nativa remanescente. A validação mostrou que a vazão medida e a vazão simulada na etapa da calibração, representam bem o regime hidrológico (Figura 16).

Outra forma de verificar a aderência entre os dados simulados com a calibração e os dados medidos é por meio estatístico. Verificou-se que nessa simulação o NASH foi de 0,87 e o COE foi de 0,26, indicando que o modelo representa satisfatoriamente a vazão na área de estudo. Ressalta-se que há uma

subestimativa de 26%, sendo que esses resultados podem ser atribuídos ao fato de não existirem outros pontos de monitoramento da precipitação na área de estudo, o que poderia representar melhor a distribuição espacial.

Figura 16 – Comparação entre vazão simulada e medida na seção de controle



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 2016.

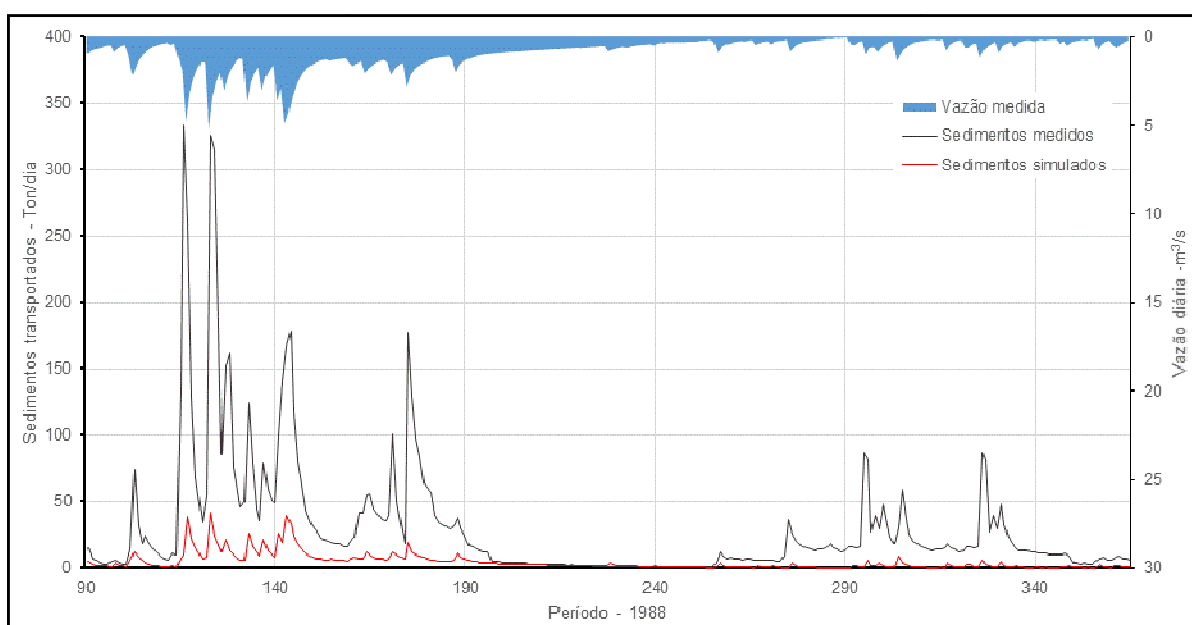
Entretanto, se a área de estudo fosse maior, haveria necessidade de mais estações meteorológicas para não comprometer os resultados. Mesmo com a subestimativa do SWAT, os resultados podem ser considerados satisfatórios e dentro das incertezas relatadas na literatura.

O resultado da comparação entre dados medidos e simulados no período de validação foi de  $R^2 = 0,88$ . Esse valor indica a aderência entre os dados comparados e confirma a eficiência do SWAT para a representação da vazão nas bacias hidrográficas estudadas. Durante o desenvolvimento da calibração e validação foram definidos exutórios das sub-bacias que foram utilizados posteriormente para a simulação de cenários.

As etapas de simulação, calibração e validação também foram realizadas em relação aos sedimentos concentrados, porém verificou-se que a simulação de

sedimentos transportados nos cursos d'água (Figura 17) resultou em valores elevados considerando o tamanho da área de estudo. Os dados de concentração de sedimentos foram obtidos em 1988 e 1989 com a coleta de amostras de água para a pesquisa de Bassi (1990).

Figura 17 – Comparação entre o volume de sedimentos transportados diariamente na seção controle para o ano de 1988



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 1996.

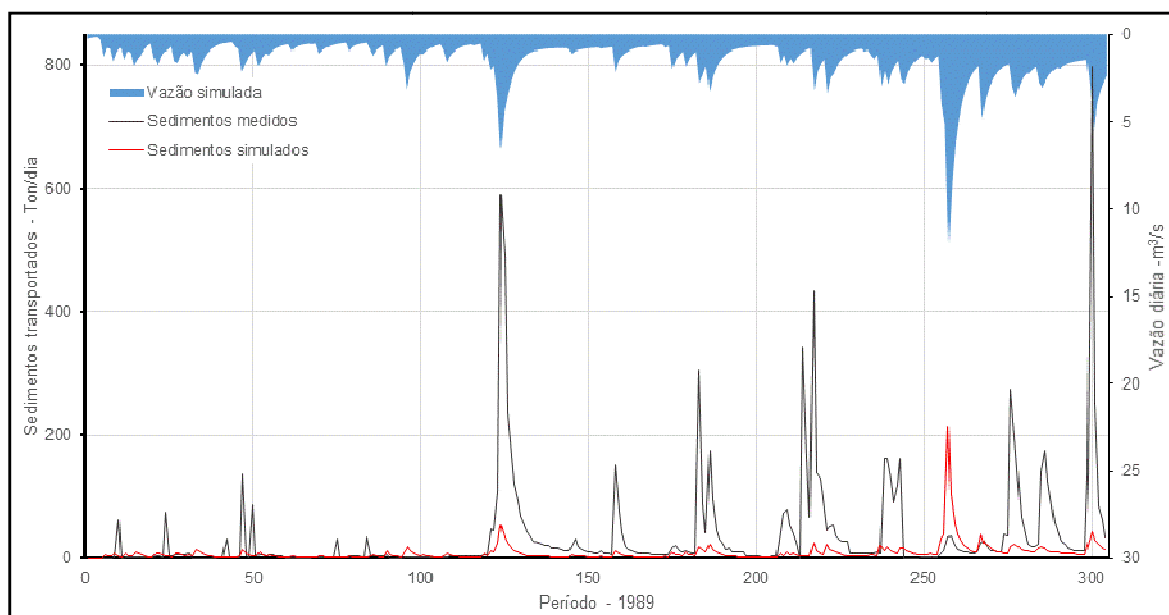
O modelo foi coerente em relação ao aumento dos sedimentos medidos e simulados com o aumento da vazão, porém verificou-se que houve uma diferença significativa entre os sedimentos medidos em 1988 e os sedimentos transportados simulados. Dessa forma, foram simulados os sedimentos transportados em relação aos dados de 1989 (Figura 18) para comparar com a simulação com os dados de 1988.

Verifica-se que há uma grande diferença entre os dados de sedimentos medidos e os simulados. Em alguns momentos a vazão aumentou consideravelmente em relação aos demais dias e os sedimentos medidos não, porém os sedimentos simulados tiveram aumento.

Essa diferença entre dados de sedimentos medidos e os simulados pode estar associada a várias possibilidades, como: local de coleta de amostras de água, tamanho da área de estudo, procedimento adotado por Bassi (1990) para determinar

a concentração de sedimentos, se a coleta foi realizada no pico da concentração de sedimentos pode resultar em uma superestimativa dos dados medidos.

Figura 18 – Comparação entre o volume de sedimentos transportados diariamente na seção controle em 1989



Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Éverton Blainski, 1996.

Conclui-se que o modelo representou a variação dos sedimentos transportados conforme a vazão, porém com subestimativa se comparado com os dados medidos. Dessa forma, optou-se em utilizar os dados de vazão para simulação, calibração e validação do modelo. Com estas etapas o modelo conseguiu representar o escoamento superficial, a vazão e a perda de solos através de cenários ambientais.

#### 4.7 CENÁRIOS AMBIENTAIS

Para verificar como o processo de alterações na vegetação nativa remanescente pode interferir no escoamento superficial, na vazão e na perda de solo, foram definidos sete cenários ambientais considerando o uso da terra, a saber:

- Cenário 1989
- Cenário 1996,



- Cenário 2010,
- Cenário 2015,
- Cenário 2015 – APP,
- Cenário 2015 – Cultivo e
- Cenário 2015 – Edificações

Os cenários ambientais de 1989, 1996, 2010 e 2015 foram denominados cenários reais, por representarem o uso da terra correspondente ao ano do cenário. Os cenários com simulação de APP, áreas de cultivo e áreas de edificações foram denominados cenários virtuais, pois tiveram como referência o uso da terra de 2015. Os fragmentos menores a um hectare de mata nativa foram substituídos por cultivo ou edificações.

Posteriormente, foram criados sete projetos através da extensão *ARCSwat* do *software* ArcGIS. Cada projeto contempla uma função ambiental com os sete cenários ambientais.

A outra etapa foi inserir a parte cartográfica, como: mapas de uso da terra referente a cada cenário simulado, mapa de tipos de solo, mapa da hidrografia, mapa de declividades e os exutórios das sub-bacias. O Modelo Digital de Elevação e o mapa de declividades foram fundamentais para delimitar a bacia hidrográfica e as sub-bacias utilizadas na modelagem. Como os dados climáticos foram inseridos anteriormente para o aquecimento, a calibração e a validação do modelo, a etapa seguinte foi o de ajustamento dos parâmetros conforme definidos durante a calibração do modelo (Quadro 4).

Isto significa que os parâmetros calibrados mencionados no item 4.6.2 foram inseridos para que o modelo pudesse ser executado. A configuração básica resultante da inserção de todos os dados tabulares e cartográficos mencionados, foi executada para cada cenário. Para facilitar a visualização dos cenários ambientais e comparar o uso da terra com as funções ambientais, foram elaboradas tabelas dinâmicas com os dados climáticos diários de 1985 a 2015 e os dados de escoamento superficial, vazão e perda de solo. Ressalta-se que parâmetros calibrados, os dados climáticos, o mapa de tipos de solo e a hidrografia formam a base comum para os diferentes cenários simulados, não tendo variações.

Para se ter somente o uso da terra como variável, foi feita uma média dos dados climáticos diários e dos dados de vazão, perda de solo e escoamento superficial, sendo assim um valor constante para todos os cenários ambientais.

Desta forma, foram estimados o escoamento superficial, a vazão e a perda de solo em relação aos fragmentos da vegetação nativa remanescente e o uso da terra (conforme o item 4.3.1) nas quarenta sub-bacias.

Ressalta-se algumas informações relevantes para a realização da pesquisa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios, como a coleta de amostras de água para determinar a concentração de sedimentos e as medidas de nível e vazão terem sido realizadas na bacia hidrográfica do lajeado São José. A estação meteorológica de Chapecó localiza-se também nessa bacia hidrográfica.

De acordo com Neitsch et al. (2011), o *SWAT* permite a modelagem em bacias hidrográficas sem acompanhamento de dados, dessa forma foram realizados os procedimentos de modelagem também na bacia do lajeado Passo dos Índios, considerada uma bacia urbanizada com pouca mata nativa, para comparar com a bacia do lajeado São José com mais fragmentos de mata nativas.

Após a análise do comportamento hídrico em cada cenário entre as sub-bacias foi realizada a comparação entre os diferentes cenários para verificar a função ambiental dos fragmentos florestais na regulação hidrossedimentológica. De acordo com Machado, R. (2002), o *SWAT* permite o estudo de vários cenários diferentes para melhor compreensão dos processos físicos, sendo possível prever situações futuras para subsidiar ações de decisão.

Para a elaboração dos diferentes cenários, Ávila e Santos (1989 apud BASTOS; ALMEIDA, 2000, p. 96) mencionam que é preciso iniciar com “[...] a construção de uma base, ou seja, a imagem do estado atual do sistema a partir da qual o estudo prospectivo pode se desenvolver”. Ressalta-se que o conhecimento das possíveis situações pode ser útil na tomada de decisão para os planejamentos territorial e ambiental.

A bacia do lajeado São José possui restrições de uso pelo Plano Diretor de Chapecó (CHAPECÓ, 2014b) e, de acordo com Marques (2010, p. 194), o plano diretor é um instrumento que visa à proteção ambiental, ao conciliar a ocupação e expansão urbana com a conservação e preservação ambiental, visando o bem-estar, a qualidade de vida e a disponibilização de serviços públicos e infraestrutura básica.

## **5 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO**

Este capítulo trata da apresentação das principais características fisiográficas dos municípios de Chapecó e Cordilheira Alta com destaque para as bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios, localizados nestes municípios, bem como a caracterização histórica e as principais atividades econômicas dos municípios da área de estudo.

Estas características são importantes para compreender o processo de ocupação e as principais atividades econômicas na área de estudo. A relação entre características do ambiente natural e do uso e ocupação da terra está diretamente ligada ao desmatamento e às funções ambientais dos fragmentos de remanescentes da mata nativa.

### **5.1 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS**

As principais características abordadas foram: geologia, geomorfologia, tipos de solo, hidrografia, vegetação e clima.

#### **5.1.1 Geologia**

As rochas predominantes na região Oeste de Santa Catarina pertencem à Bacia do Paraná, constituída por sedimentitos gonduânicos e com idades paleo-mesozoicas, recobertos por sequências vulcânicas de caráter predominantemente básico da Formação Serra Geral, cujas idades relacionam-se ao Cretáceo Superior (SCHNEIDER et al., 1974; ZALÁN et al., 1990). Em relação à ocorrência de sucessivos derrames basálticos, Peluso Jr. (1986, p. 15) ressalta que cada sequência apresenta características específicas de resfriamento. Por isso, o basalto apresenta diferentes feições, tanto sob o aspecto textural (basalto vítreo ou afanítico), quanto físicos, com diaclases tanto verticais, quanto com “[...] planos horizontais superpostas pelo basalto com vesículas”. Essas feições, por certo, contribuem para a resistência das rochas nos diferentes estágios de intemperismos.

Para as unidades litológicas mais superiores da referida bacia e ocorrentes na presente área de estudo, Scheibe (1986, p. 28) ressalta a presença de rochas vulcânicas basálticas intercaladas com “[...] arenitos intertrapeanos; e por efusivas

ácidas e intermediárias [...]”, como basaltos e riolitos da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, com idades relacionáveis ao Cretáceo Superior.

Ao caracterizar os terrenos tectono-geológicos do estado catarinense, CPRM (2014) define para o Sul do país, onde se insere a área de estudo, o Super Grupo São Bento, dividindo-o em Serra Geral e subdividindo-o em várias formações, como a Formação Chapecó, caracterizada por rochas ácidas, principalmente riolitos e riolitos; a Formação Paranapanema e a Formação Cordilheira Alta, ambas com rochas básicas, predominantemente de basaltos.

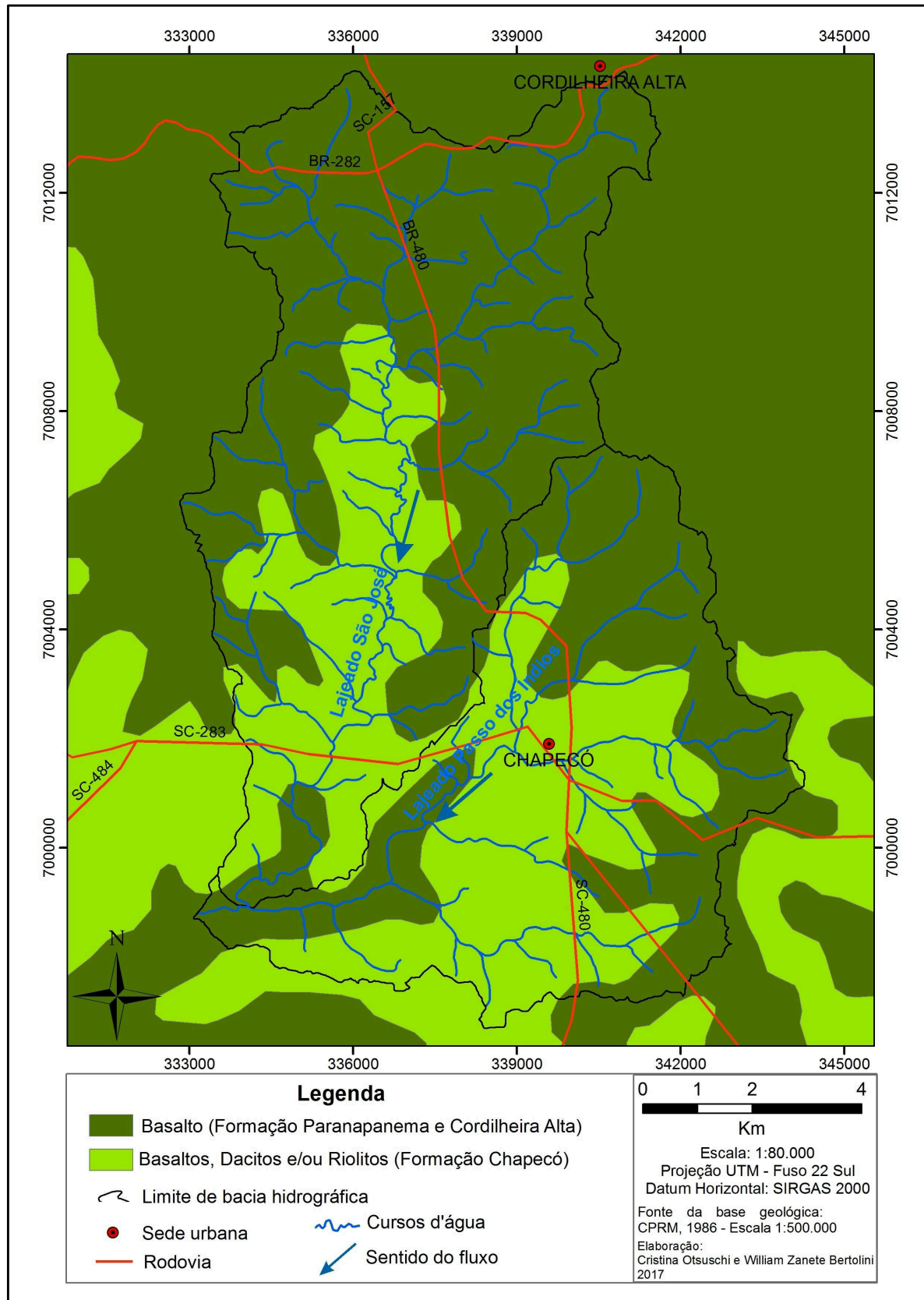
Em relação às rochas de composição ácida, Thomé et al. (1999) destacam que as mesmas são encontradas no Oeste catarinense, no município de Chapecó. Ainda, os referidos autores ressaltam que o vulcanismo basáltico teria atingido a superfície terrestre através de fendas na crosta formadas durante o Juro-Cretáceo, período em que predominava no Sul do Brasil condições climáticas quentes e secas, favorecendo a geração de extensos desertos de areia (NARDY, MACHADO, OLIVEIRA, 2008; REIS et al., 2014), o que explica, na “[...] base dos basaltos ocorre um contato com os arenitos eólicos da Formação Botucatu, porém muitas vezes aparecem intercalados a estes”.

Scheibe (1986) e Thomé et al. (1999) ressaltam que sills e diques de diabásio afloram interceptando as rochas mais antigas, principalmente, nas proximidades que cercam as áreas de ocorrência dos basaltos. Na Era Mesozóica, durante o Período Cretáceo houve sequências de eventos que podem ser datados em Cretáceo Inferior, Médio e Superior.

Na sequência Inferior a unidade Basaltos Alto Uruguai pode ter contato em alguns lugares com a unidade Ácidas Chapecó, da sequência Intermediária. Da sequência Superior destacam os Basaltos Cordilheira Alta, que ocorre diretamente sobre as Ácidas Chapecó em alguns municípios do Oeste catarinense, como em Chapecó (Figura 19) (CALDASSO, VIERO, FREITAS, 2003).

Na área de estudo as rochas básicas como o basalto, são encontradas principalmente nas áreas mais íngremes tendo declividades acima de 15%, com predomínio do Cambissolo Háptico, em altimetrias até 600m nas proximidades da confluência entre os lajeados São José e Passo dos Índios. Assim como, nas áreas de nascentes, acima de 680m de altitude e de 15% de declividades.

Figura 19 – Principais tipos de rocha na área de estudo



As rochas ácidas como o riolito ocorrem mais na parte central das bacias hidrográficas, com predomínio de declividades até 15%. Na bacia do lajeado São José essas rochas são encontradas entre 600 e 680m de altitude e na bacia hidrográfica do lajeado Passo dos Índios, entre 600 e 760m de altitude.

Essas características das rochas são importantes para a formação dos solos, os tipos de uso dos mesmos e para o comportamento hidrológico. De acordo com Thomé et al. (1999, p. 180-181):

A parte superior dos basaltos apresenta cavidades normalmente preenchidas por zeólitas, calcedônia e clorita. As cavidades superficiais preenchidas com calcitas reduzem a acidez dos solos, enriquecendo-os com cálcio. Os dacitos, riolitos e riodacitos originam solos ácidos e com baixa fertilidade.

A EMBRAPA (2004) ressalta que as rochas básicas formam solos com maior teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em relação às rochas intermediárias e ácidas. O Latossolo Roxo, o Latossolo Bruno/Roxo e a Terra Roxa Estruturada são exemplos de solos argilosos com maior teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### 5.1.2 Solos

Associados à decomposição das rochas da Formação Serra Geral os principais tipos de solos na área de estudo são: Cambissolo, Latossolo Bruno/Roxo, Latossolo Roxo, Terra Roxa Estruturada; que correspondem no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos aos solos na área de estudo: Cambissolo Háplico, Latossolo Bruno, Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho (Figura 20).

O Cambissolo Háplico insere-se em uma classe de solos pouco desenvolvido com horizonte B incipiente com presença de argila de atividade baixa (EMBRAPA, 2006). Esse tipo de solo possui textura argilosa decorrente da decomposição de rochas efusivas básicas como o basalto

Na área de estudo encontra-se em 15,4% no nordeste e parte do leste da área de estudo, principalmente em altitudes acima de 680m (Figura 21) e em altitudes inferiores a 600m com predomínio de declividades superiores a 25% (Figura 22) onde é mais íngreme.

Figura 20 - Tipos de solo nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios

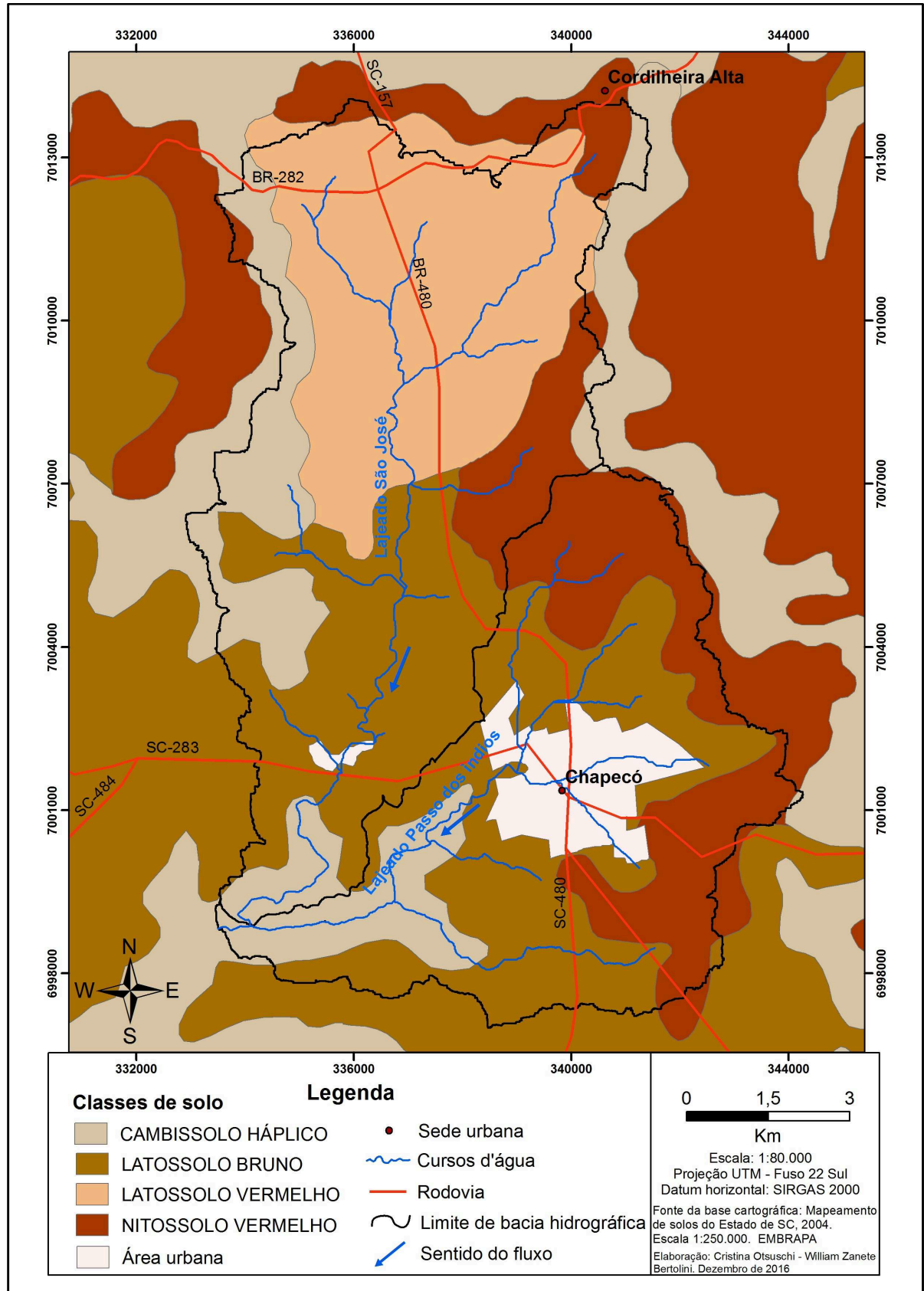




Figura 21 – Hipsometria das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios

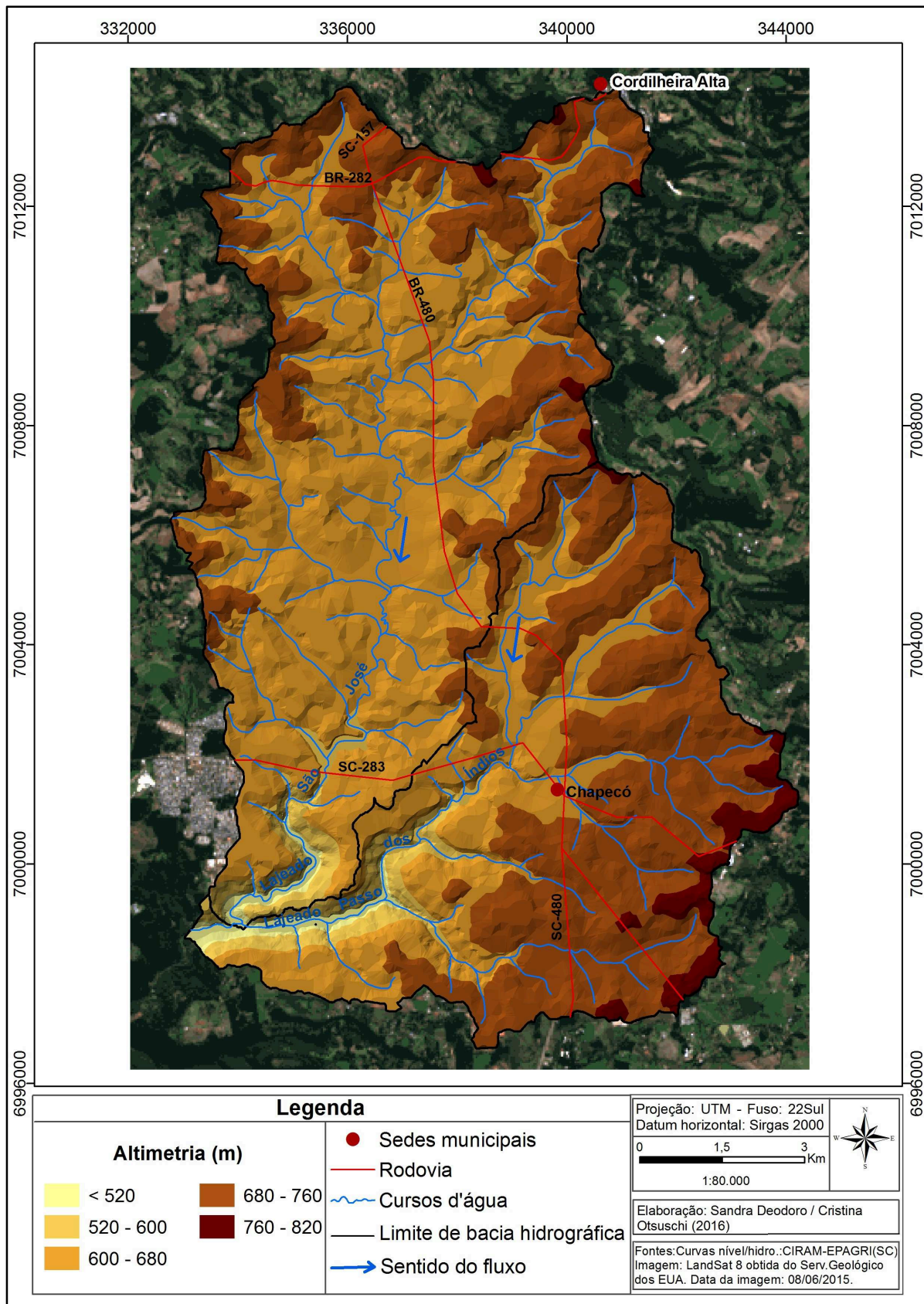
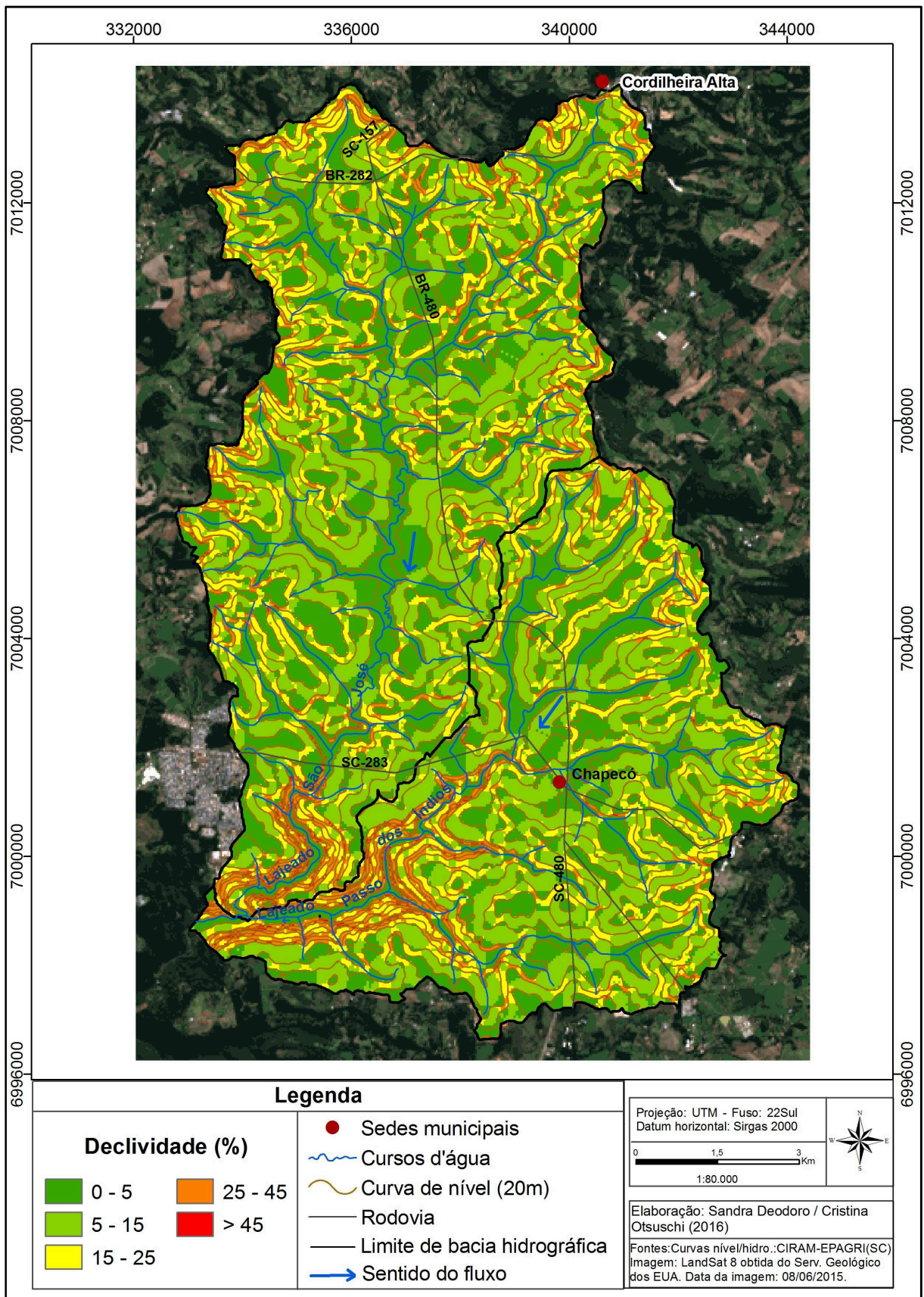




Figura 22 – Declividades nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios



O grupo dos latossolos pode ser considerado como solos muito evoluídos com estágio avançado de intemperização, possuem horizonte B latossólico sendo caracterizado por ser um horizonte subsuperficial tendo a presença de intemperismo intenso de minerais primários e secundários menos resistentes com pouca migração de argila e a transição entre os subhorizontes pode ser considerada difusa (EMBRAPA, 2006).

O Latossolo Bruno resulta da decomposição de rochas efusivas mais ácidas da Serra Geral como riolito e riodacito, com sequência de horizontes A, B e C, sendo o horizonte superficial rico em matéria orgânica e é um solo considerado profundo, textura muito argilosa e com boa drenagem (EMBRAPA, 2004). Este tipo de solo possui 24,6% da área de estudo e encontra-se entre 600 e 680m de altitude na bacia do lajeado São José e entre 600 e 760m de altitude na bacia do lajeado Passo dos Índios, predominando nas duas bacias onde as declividades variam entre 0 e 25%.

O Latossolo Vermelho resulta da decomposição de rochas efusivas básicas, possui textura muito argilosa, é considerado um solo profundo, bem drenado, com sequência de horizontes A, B e C, uma das características é a transição gradual entre A e B, e a transição difusa entre os subhorizontes de B (EMBRAPA, 2004). Este tipo de solo encontra-se somente na bacia do lajeado São José em 35,4% da área e entre 600 e 680m de altitude predominando na parte superior da bacia hidrográfica entre 0 e 25% de declividade.

O Nitossolo Vermelho faz parte dos solos minerais não hidromórficos onde há ocorrência de rochas eruptivas básicas da Formação Serra Geral, possui textura argilosa a muito argilosa, com cerosidade moderada a forte e caracteriza-se por ter alto teor de ferro e titânio (EMBRAPA, 2004). Este tipo de solo possui horizonte B Nítico em que a argila é de baixa atividade e a transição entre seus subhorizontes pode ser gradual ou difusa, apresenta cerosidade marcante na superfície dos agregados (EMBRAPA, 2006).

Este tipo de solo encontra-se em 18,7% da área de estudo, em alguns trechos no norte da bacia hidrográfica do lajeado São José e no contato entre as duas bacias estudadas na área de ocorrência de rochas básicas, entre 680 e 820m de altitude nas proximidades do divisor de águas.

A área urbana também foi identificada no mapeamento realizado pela EMBRAPA (2004), em 5,6% da área de estudo e é considerada importante por ter efeitos diferentes no comportamento hídrico em relação aos demais tipos de solo. A principal área urbana identificada no mapa de solos localiza-se na área central na bacia do lajeado Passo dos Índios, entre 600 e 760m de altitude predominando declividades entre 0 e 25%. Pequena porcentagem de 0,3% foi representada como água (barragem) no mapa de solos.

### 5.1.3 Geomorfologia

Considerando as características geológicas, climáticas e o arranjo das formas de relevo de Santa Catarina, a EMBRAPA (2004) destaca uma taxonomia baseada em alguns estudos, como o do RADAMBRASIL, que possibilita dividir geomorfologicamente o estado seguindo uma hierarquia: domínios morfoestruturais, regiões geomorfológicas e unidades geomorfológicas. Chapecó e Cordilheira Alta encontram-se no domínio morfoestrutural “Bacias e Coberturas Sedimentares”.

Este domínio possui quatro regiões e os municípios citados fazem parte da região “Planalto das Araucárias”, que é subdividida em quatro unidades geomorfológicas. Chapecó e Cordilheira Alta encontram-se nas unidades do “Planalto dos Campos Gerais” do “Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai.

O Planalto dos Campos Gerais aparece no Oeste de Santa Catarina distribuído em blocos isolados na unidade geomorfológica “Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai. As maiores altitudes do Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai são registradas com altitudes acima de 1.000m, no limite leste e indo para o oeste as altitudes vão diminuindo até 300m, apresenta relevo muito dissecado com vales profundos (EMBRAPA, 2004).

Em relação a essa unidade geomorfológica Thomé et al. (1999, p. 179), comenta que “A forma de relevo é dada por um interflúvio estreito de topo plano ou levemente convexizado, interrompido por uma vertente de forte declividade, como escarpa, apresentando degraus que configuram patamares”.

No Planalto dos Campos Gerais os blocos isolados destacam-se topograficamente em relação ao relevo do Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai, variando entre 600 e 1200m de altitude e resultam dos processos de dissecação dos principais rios do Oeste catarinense, como o rio Uruguai. Estes

blocos são conhecidos regionalmente como Planalto de Palmas, Planalto do Capanema, Planalto de Campos Novos e Planalto de Chapecó (THOMÉ et al., 1999)

Esta unidade geomorfológica apresenta patamares resultantes dos derrames de basalto e da ação do intemperismo, sendo possível dividir o relevo do Planalto da bacia do rio Uruguai em três seções: Planalto Oriental, Planalto do Meio Oeste e Planalto do Oeste (PELUSO JR., 1986). Os municípios de Chapecó e Cordilheira Alta encontram-se no Planalto do Oeste que se caracteriza pela presença de relevo escalonado decorrente do processo com os diversos derrames de lavas basálticas, possibilitando rios com perfis longitudinais irregulares.

Na área de estudo a maioria das nascentes encontram-se entre 680 e 760m. de altitude (Figura 21) e entre 25 e 45% de declividade (Figura 22). A confluência entre os lajeados São José e Passo dos Índios encontra-se aproximadamente em 470m de altitude. As áreas mais elevadas localizam-se no leste da bacia do lajeado Passo dos Índios entre 760 e 820m de altitude.

Na bacia do lajeado São José predominam altitudes entre 600 e 680m enquanto na bacia do lajeado Passo dos Índios este intervalo altimétrico acompanha o canal do principal curso d'água, predominando altitudes entre 680 e 760m no norte, nordeste e sul desta bacia hidrográfica.

Nas bacias hidrográficas em estudo, há o predomínio de 0 a 5% de declividade no fundo do vale seguido de 5 a 15% de declividade. As declividades de 15 a 25% mostram rupturas no relevo com a presença de áreas mais elevadas.

As áreas mais íngremes encontram-se no divisor de águas no nordeste, norte, noroeste e leste na bacia do lajeado São José, assim como nas proximidades da sede municipal de Chapecó, com declividades acima de 25% (Figura 22) em que o lajeado Passo dos Índios apresenta desníveis formando cascatas.

Após as cascatas, verifica-se que o vale do lajeado Passo dos Índios fica mais encaixado e profundo (Figura 23) até as proximidades da confluência entre os lajeados São José e Passo dos Índios (Figura 22).

Considerando-se as características morfológicas e geológicas, a rede de drenagem do Oeste catarinense faz parte do sistema da bacia hidrográfica do rio Uruguai. Peluso Júnior (1999) destaca as serras catarinenses separando geomorfologicamente os planaltos a oeste e o litoral e encostas a leste destas serras.



Figura 23 – Vista parcial da margem direita do lajeado Passo dos Índios após as primeiras cascatas



Fonte: (foto de Cristina Otsuschi, 2014).

#### 5.1.4 Hidrografia

A Serra Geral pode ser considerada o grande divisor de águas que separa os cursos d' água que drenam para o leste e deságuam no Oceano Atlântico e os rios que drenam para o oeste de Santa Catarina, conhecido como vertente do interior e que deságuam no rio Uruguai.

As principais bacias hidrográficas do vertente do interior são as bacias dos rios Uruguai e Iguaçu, sendo que os lajeados São José e Passo dos Índios são afluentes do rio Uruguai.

De acordo com Thomé et al. (1999, p. 179 - 180) os cursos d' água no Planalto Dissecado do Rio Iguaçu/Rio Uruguai caracterizam-se pelo controle estrutural com a retificação ou sinuosidade em alguns trechos, com vales encaixados e com a presença de lajeados e corredeiras. No Planalto dos Campos Gerais, os rios maiores encontram-se geralmente em “[...] vales encaixados com

patamares dissimulados nas encostas [...] com curvas meândricas” e com a diferença entre os derrames de rochas efusivas, possuem corredeiras e cachoeiras.

As principais características dos rios da área de estudo é o fato de estarem encaixados em fraturas de rochas basálticas e, por isso, tendem a apresentar vales em “V”, com margens abruptas e sem planícies de inundação típicas. Geralmente, pouco profundos e com média a alta vazão, apresentam trechos intercalados ora com aspecto meandriforme onde a rede de diaclases é mais densa, ora com aspecto retilíneo, onde a rede de diaclases é menos densa (BARTORELLI, 2004).

Na área de estudo conforme comentado anteriormente, o lajeado São José é um curso d’água intermunicipal, tendo algumas nascentes em Cordilheira Alta no município vizinho de Chapecó. Os principais afluentes do lajeado São José são: lajeado Tormen e as sangas Água Santa, dos Rosas, Eldorado, Caramuru e Pombas.

O lajeado Passo dos Índios possui como principais cursos d’água a sanga Iracema e os lajeados São Pedro, Bela Vista, Santo Antônio, Passo dos Fortes, Santa Maria e Palmital (Figura 24).

Para este trabalho, identificou-se o lajeado São Pedro conforme Chapecó (2015). Em alguns trabalhos, como o de Bottin (2007), Zeni (2007) e Binda e Fritzen (2013) não mencionam o lajeado São Pedro por considerarem como sendo o canal principal do lajeado Passo dos Índios.

Há outras situações de divergência na nomenclatura ou identificação dos cursos d’água ou de bacias hidrográficas nos documentos e materiais cartográficos, mas não é objetivo deste trabalho fazer uma proposta em relação à rede de drenagem em Chapecó e Cordilheira Alta.

As nascentes dos cursos d’água dos lajeados estudados encontram-se principalmente em área rural. Verifica-se que os lajeados São José e Passo dos Índios, ao atingir as cotas de 600m, passam a apresentar desníveis caracterizando cascatas e o fluxo mais turbulento. Nas proximidades, as declividades são superiores a 25% (Figura 25). Nestas localidades, foram construídas duas usinas hidrelétricas para fornecer energia aos moradores de Chapecó nas décadas de 1930 e 1940.



Figura 25 - Vista parcial da encosta com pouca mata nativa em Chapecó na década de 1950



Fonte: (Acervo CEOM/Unochapecó).

Considerando-se as cascatas e o potencial energético, foi construída a primeira usina hidrelétrica em Chapecó (Figura 26) no lajeado Passo dos Índios, visando fornecer energia elétrica para a cidade de Chapecó.

Figura 26 - Construção de usina hidrelétrica no lajeado Passo dos Índios



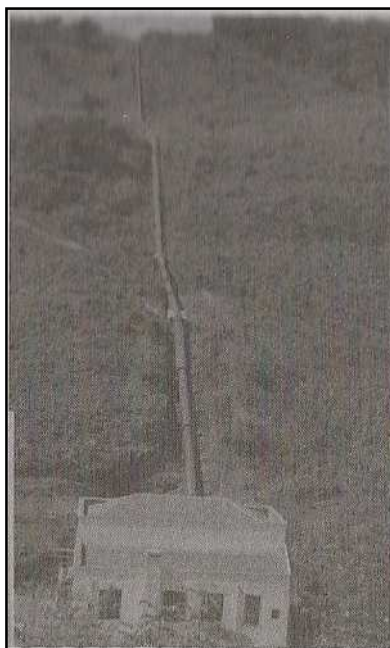
Fonte: (Acervo CEOM/Unochapecó).

Em 1931 foi construída a primeira usina hidrelétrica em Chapecó no lajeado Passo dos Índios e pertencia à família Bertaso e Arnaldo Mendes (CEOM, 2006). De acordo com Wagner (2005) essa usina hidrelétrica foi construída em 1940 por Aquiles Tomazelli.



Com o crescimento da cidade e o aumento populacional foi necessário gerar mais energia elétrica. Desta forma, Augusto Barela construiu a segunda usina hidrelétrica no Engenho Braun nas quedas do lajeado São José (Figura 27).

Figura 27 – Tubulação da usina hidrelétrica construída no lajeado São José

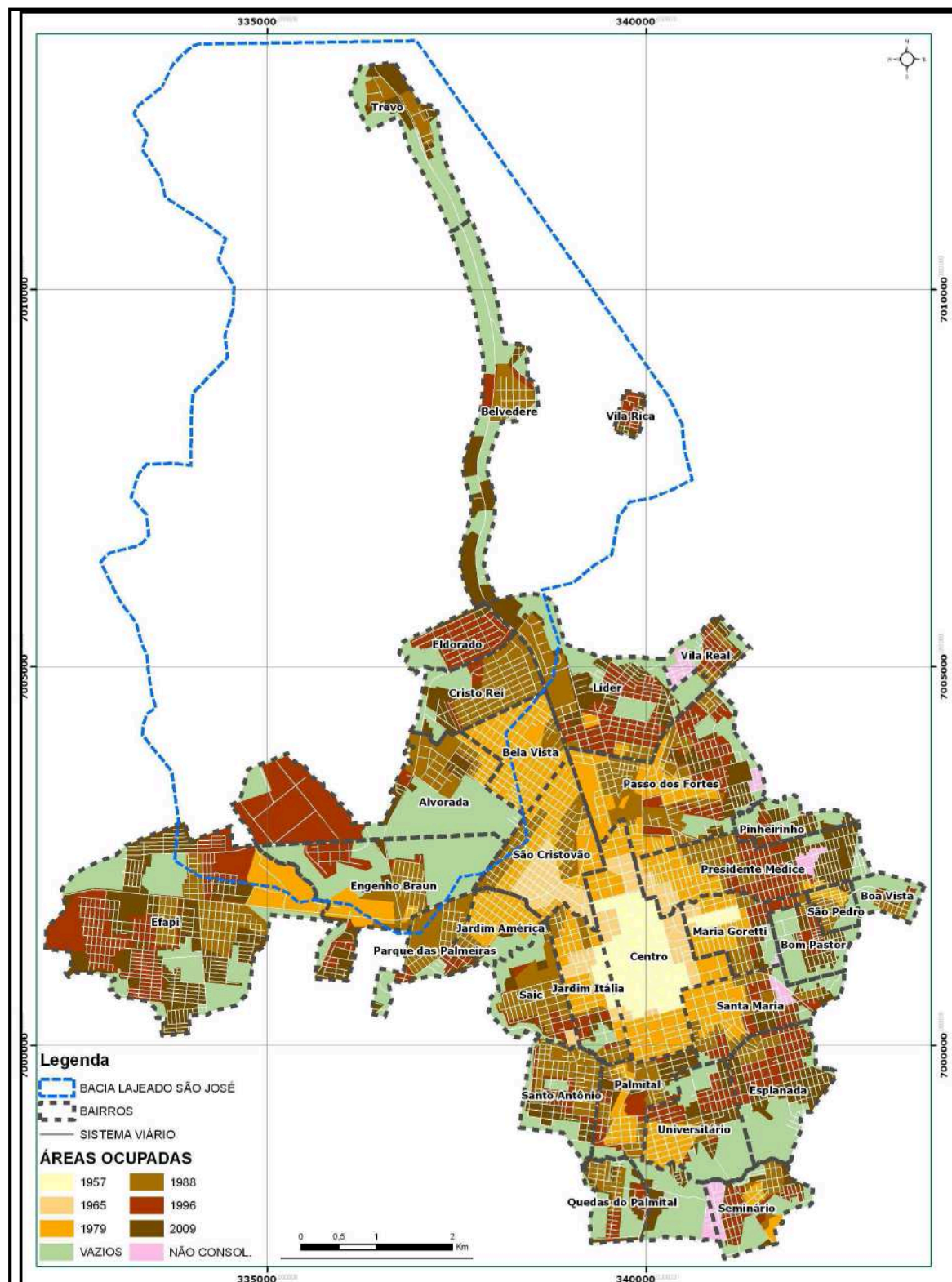


Fonte: (Wagner, 2005).

A usina começou a gerar energia em 1946, e com o aumento da demanda, em 1949 foi fundada a Força & Luz de Chapecó para outros empreendimentos no setor de energia elétrica. Em 1974, a Força & Luz foi incorporada pelas Centrais Elétricas de Santa Catarina S. A. - CELESC (WAGNER, 2005).

Os cursos d'água da bacia do lajeado Passo dos Índios drenam os bairros Boa Vista, São Pedro, Bom Pastor, Passo dos Fortes, Líder, Pinheirinho Maria Goretti, Presidente Médici, Centro, Jardim Itália, São Cristovão, Santa Maria, Esplanada, Universitário, Palmital, Santo Antônio, SAIC, Parque das Palmeiras e Jardim América. Na bacia do lajeado São José os cursos d'água drenam os bairros Efapi, Trevo, Belvedere, Vila Rica, Eldorado, Cristo Rei, Bela Vista, Alvorada e Engenho Braun (Figura 28). Vale destacar que grande parte da bacia do lajeado São José é considerada rural, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios é considerada bacia hidrográfica urbanizada.

Figura 28 - Evolução da ocupação urbana entre 1957 e 2009 em Chapecó<sup>3</sup>



Fonte: (Facco, 2011).

<sup>3</sup> Provavelmente foi representado o limite da bacia de captação de água em Chapecó e não a bacia hidrográfica.

Em relação às águas subterrâneas tanto a área de estudo encontra-se no Domínio Hidrogeológico Serra Geral. Considerando a composição e características das rochas ácidas e básicas desse domínio, Cardoso et al. (2007, p. 11) destacam a classificação de Subdomínio Serra Geral 1 e Subdomínio Serra Geral 2. O primeiro “[...] é representado pelos derrames basálticos e andesíticos [...]” tendo a sequência vulcânica básica, com sucessivos derrames básicos tendo a partir da base para o topo a ocorrência das zonas vítrea, de fraturamento horizontal, de fraturamento vertical e a amigdalóide, e a sequência vulcânica intermediária próximos a “Chapecó, Irani e Vargeão”.

O Subdomínio Serra Geral 2 caracteriza pela presença de rochas de composição ácida com ocorrência na parte superior das sequências básicas e intermediárias. Caldasso, Viero e Freitas (2003, p. 8) utilizam a denominação “ácidas tipo Chapecó” referindo-se à subdivisão de rochas vulcânicas da Serra Geral.

Para Machado, J. (2013, p. 54), as litologias fraturadas das rochas da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral, “[...] comportam-se como aquíferos e atuam como confinante das Unidades Hidroestratigráficas Piramboia e Botucatu, que correspondem ao Sistema Aquífero Guarani.” Para esse autor a Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral pode ser considerada o aquífero mais importante de Santa Catarina pela quantidade de poços perfurados e o volume de água utilizada ser significativo. Como a hidrografia está associada às características geológicas e climáticas, a seguir apresentam-se algumas considerações sobre o clima no Oeste catarinense.

### **5.1.5 Clima**

De acordo com Sartori (2003), a região Sul do Brasil encontra-se em uma zona climática de transição com a influência dos Sistemas Atmosféricos Extratropicais, com massas e frentes polares, e dos Sistemas Intertropicais, com as massas tropicais e correntes perturbadas; possibilitando chuvas durante todo o ano como resultado das “sucessivas passagens frontais”. A autora destaca, ainda, que é possível ter variação da precipitação no tempo e no espaço, tendo como efeitos as estiagens ou as enchentes, em decorrência da atuação de fenômenos conhecidos como El Niño e La Niña.

Com a influência desses sistemas atmosféricos, tanto Chapecó como Cordilheira Alta possuem o clima do tipo Cfa - Subtropical Úmido de acordo com a classificação de Köppen, tendo verões quentes e invernos frios e chuvosos. Costa (2015, p. 65-66) destaca que a atuação, principalmente nos meses de primavera e verão, dos Complexos Convectivos de Mesoescala resulta na “[...] produção de precipitações intensas, fortes rajadas de ventos e até mesmo tornados no Oeste catarinense [...]”. O autor ainda destaca que o Oeste catarinense pode ser considerado como a região mais chuvosa do Estado de Santa Catarina em decorrência da atuação das correntes de sul e de oeste.

Em relação ao clima de Santa Catarina, Monteiro (2001) destaca que a quantidade de chuva no Oeste catarinense, é menor nas proximidades do vale do rio Uruguai quando comparado com os registros dos municípios ao norte, próximos às encostas de serras, como a de Capanema e Fortuna. O autor também menciona que no verão, o Oeste e Meio-Oeste são as regiões que apresentam maior insolação. No inverno, estas regiões teriam maior volume de chuva em relação ao litoral catarinense.

Chapecó e Cordilheira Alta encontram-se em uma região com temperatura média que varia entre 17,9 e 19,8°C. A temperatura média das máximas varia de 25,8 a 27,5°C, e das mínimas fica entre 12,9 a 14°C. A precipitação anual varia entre 1430 e 2020mm e a umidade relativa varia entre 77 e 82%, geralmente ocorrem de 5 a 12 geadas por ano (THOMÉ et al., 1999). Estas condições climáticas influenciam na formação de vegetação arbórea tendo a *Araucária angustifolia* como espécie caracterizante na área de estudo.

#### 5.1.6 Vegetação

As matas nativas das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios fazem parte do bioma Mata Atlântica, predominando como região fitoecológica a Floresta Ombrófila Mista e, somente no sul da área de estudo, há a presença da Floresta Estacional Decidual, nas proximidades das áreas mais íngremes, onde ocorrem as cascatas até a confluência entre os lajeados das bacias estudadas. De acordo com Prochnow (2009), em Santa Catarina predominava a Floresta Ombrófila Mista com 42,5% em seu território, enquanto a Floresta Estacional Decidual, também

conhecida como Floresta Subtropical da Bacia do Rio Uruguai, ocupava 9,6% da cobertura florestal.

A Floresta Ombrófila Mista encontra-se principalmente em áreas mais elevadas, acima de 600m de altitude, em que Klein (1978) destaca que a estrutura da vegetação nativa é bastante variada sendo composta por canela amarela (*Nectandra megapotamica*), cedro (*Cedrela fissilis*), erva-mate (*Ilex paraguariensis*), cabreúna (*Myrocarpus frondosus*), louro (*Cordia trichotoma*), grápia (*Apuleia leiocarpa*), pinheiro (*Araucaria angustifolia*), angico vermelho (*Parapiptadenia rígida*), guatambu (*Balfourodendron riedelianum*), canafístula (*Peltophorum dubium*). Prochnow (2009) comenta que a Floresta Ombrófila Mista também é conhecida como Mata de Araucária pelo destaque do pinheiro brasileiro, a *Araucaria angustifolia*, no andar superior da floresta e o sub-bosque considerado denso.

Para Klein (1978), a Floresta Ombrófila Mista também é conhecida como “mata preta” pela presença marcante dos pinheiros (Figura 29), mas também possui submatas desenvolvidas e densas mostrando heterogeneidade da vegetação, mesmo que de cima possa parecer ser homogênea pelo porte dos pinheiros.

Figura 29 – Floresta Ombrófila Mista sendo substituída por construções em Chapecó em 1930



Fonte: (Acervo CEOM/Unochapecó).

No início da década de 1930, Chapecó era conhecido como Passo dos Índios. O desmatamento cada vez maior possibilitou a ocupação em Chapecó, o uso da madeira na construção de moradias e o comércio rentável da madeira. Observa-se a construção de moradias nas áreas mais planas, facilitando o acesso e o deslocamento dos moradores.

A Floresta Estacional Decidua predomina em áreas até 600m de altitude nos vales encaixados com forte dissecação do relevo, as temperaturas médias são mais elevadas e com variação significativa na temperatura, fazendo com que a vegetação perca suas folhas no inverno. A grápia (*Apuleia leiocarpa*), o angico vermelho (*Parapiptadenia rígida*), o louro-pardo (*Cordia Trichotoma*), a canafístula (*Peltophorum dubium*) e a guajuvira (*Patagonula americana*), são exemplos deste tipo de vegetação (THOMÉ et al., 1999).

De acordo com Klein (1978) os colonizadores denominaram a Floresta Subtropical da Bacia do Rio Uruguai de “mata branca”, considerando a ausência da concentração dos pinheiros, mas que no Oeste catarinense, os pinheiros se destacam na “mata branca”. Considerando a ocupação e as diversas atividades econômicas o desmatamento da vegetação nativa, ou seja, da Mata Atlântica fez com que restassem poucos fragmentos da vegetação de tamanhos diversos e geralmente isolados.

Verifica-se que o desmatamento foi intenso desde a colonização, tendo alguns fragmentos da mata nativa principalmente em lugares mais íngremes. A exploração da madeira como atividade econômica contribuiu para a redução significativa da Floresta Ombrófila Mista e principalmente da Floresta Estacional Semidecidual.

Neste sentido, Prochnow (2009, p. 26) lembra que as árvores que estavam nas proximidades do rio Uruguai foram “[...] derrubadas para dentro do rio, onde eram amarradas umas às outras, em sistema de balsas, e levadas, em época de cheia, até São Borja, de onde partiam para serem comercializadas na Argentina”. Em relação a essa prática, Bellani (1991) ressalta que o rio Uruguai foi importante meio para o transporte e comércio da madeira, considerando a ausência de estradas no Oeste catarinense que pudessem escoar a produção madeireira.

## 5.2 HISTÓRICO E PRINCIPAIS ATIVIDADES ECONÔMICAS DOS MUNICÍPIOS DA ÁREA DE ESTUDO

Bavaresco (2005) ressalta que entre outros fatores, a presença das riquezas naturais, como erva-mate e araucárias despertou o interesse em algumas disputas pelo território do Oeste catarinense, caracterizando o uso e ocupação em Chapecó e

Cordilheira Alta, interferindo nos processos de desmatamento, fragmentação e redução da vegetação nativa na área de estudo.

### 5.2.1. Chapecó

Grupos de Kaingangue e Guaraní encontram-se na região de Chapecó e, de acordo com Bellani (1991), o primeiro grupo de bandeirantes paulistas passou em 1641 na região do Velho Município de Chapecó<sup>4</sup>, em direção ao Rio Grande do Sul, deparando-se com a população nativa. Chapecó era denominada de Vila Passo dos Índios até 1938 e depois passou a ser chamado de Chapecó, tendo o primeiro núcleo no Marechal Bormann (GOLO, 2013). O município possui quatro distritos, a saber: Marechal Bormann, Goio-Ên, Figueira e Alto da Serra.

Chapecó foi criado em 25 de agosto de 1917 e seu território abrangia uma área até a Argentina como resultado do acordo de limites entre Brasil e Argentina, conhecido pelos brasileiros como questão de Palmas em 1898 (SILVA, F. 2008) e entre Paraná e Santa Catarina, conhecido como Guerra do Contestado (1912 – 1916) sendo homologado o acordo em 1917 (FERRARI, 2011).

Com o desmembramento de Chapecó, foram criados outros municípios no Oeste e Extremo-oeste catarinense. De acordo com Wagner (2005, p. 69) com o desmembramento do “Velho Chapecó” em 1953, foram criados “[...] os municípios de Dionísio Cerqueira, Itapiranga, Mondaí, Palmitos, São Carlos, Xanxerê e Xaxim [...]”.

O Oeste de Santa Catarina, com destaque a Chapecó, teve seu desenvolvimento econômico baseado na pecuária, erva-mate, madeira e agroindústrias. A criação de gado não exigia muito investimento e contribuiu com o povoamento de novos núcleos (BAVARESCO, 2006).

O extrativismo pode ser considerado importante atividade econômica a partir de 1850 e, até 1950, tinha o destaque para erva mate, seguido do pinho, cedro e louro; sendo a produção da madeira expressiva na década de 1960 para o município. Dessa forma, as madeireiras e os ervateiros foram os principais agentes que comandaram o processo, na fase inicial de acumulação de capital em Chapecó

---

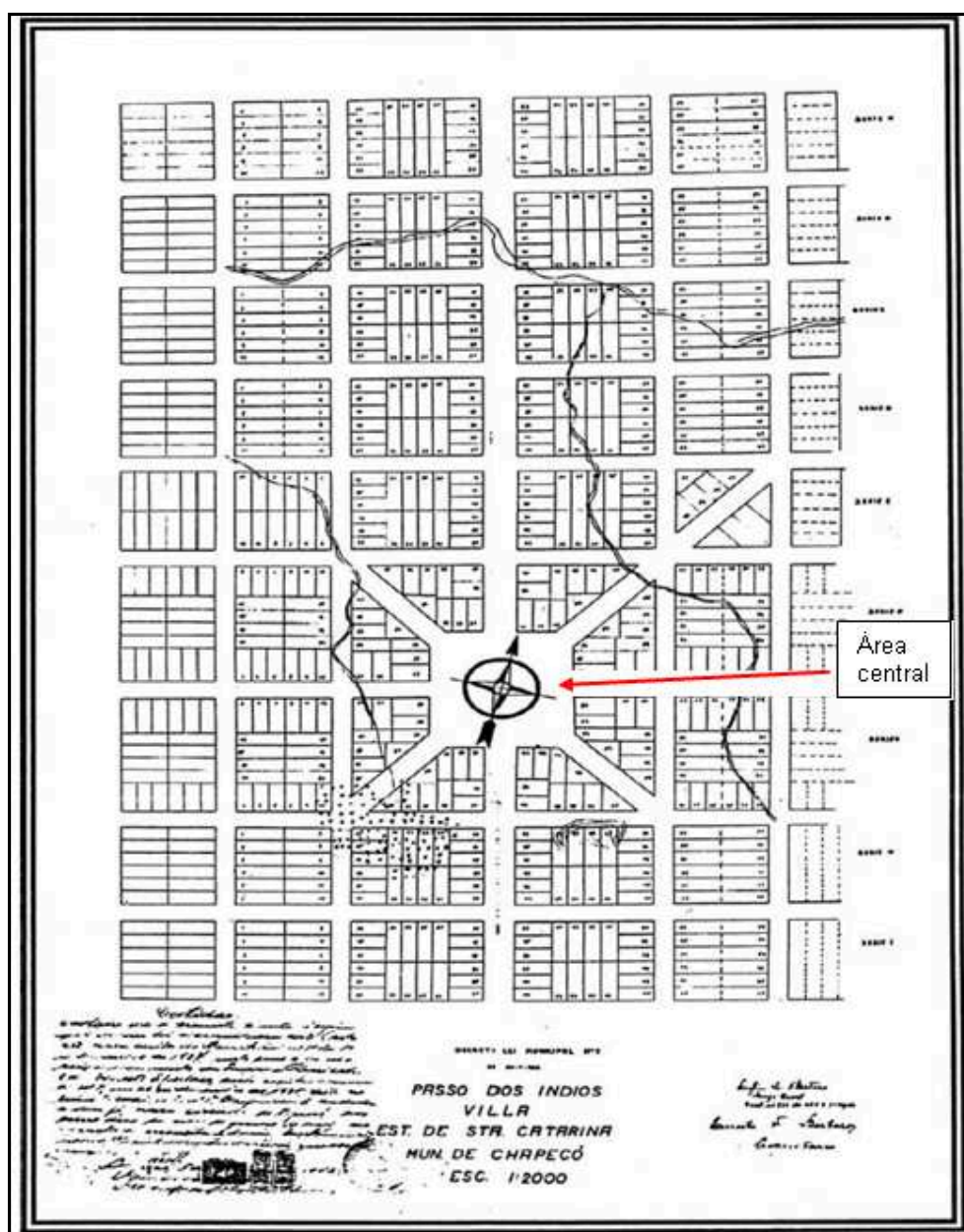
<sup>4</sup> Termo muito utilizado pelos antigos moradores e descendentes dos colonizadores para se referir “[...] à extensão territorial que possuía o município de Chapecó, desde sua criação em 1917, até o primeiro desmembramento ocorrido na década de 50.” Bellani (1991).



na década de 1920, juntamente com as companhias colonizadoras e os comerciantes (ALBA, 2013).

Chapecó teve seu traçado urbano planejado com ruas largas, tendo no centro da cidade, na parte mais elevada, a catedral, a prefeitura e a praça central (Figura 30).

Figura 30 - Planejamento da Vila Passo dos Índios na década de 1930, atual Chapecó<sup>5</sup>



Fonte: (Modificado de Golo, 2013).

<sup>5</sup> De acordo com Wagner (2005) Passo dos Índios passa a se chamar Xapecó em 31/03/1931.



Verifica-se que o planejamento da cidade e a ocupação ocorreram nas margens dos cursos d'água na área mais plana pela população com maior poder aquisitivo. Com essa ocupação aumentou a impermeabilização resultando na ocorrência de inundações e a canalização foi realizada em alguns trechos dos cursos d'água visando minimizar esse problema.

Muitos descendentes de italianos e alemães, oriundos do Rio Grande do Sul, vieram nas décadas de 1940/1950 através das companhias colonizadoras. Uma das colonizadoras que se destacou foi a Companhia Colonizadora Bertaso, responsável pela colonização do chamado “Velho Município de Chapecó”, que compreendia um espaço de aproximadamente 14 000km<sup>2</sup>.

A Mata Atlântica, até o fim do século XIX, foi pouco explorada, mudando significadamente com o avanço da colonização e da rápida expansão da indústria madeireira. Como comentado no item 5.1.6, a madeira era transportada por meio de balsas no rio Uruguai, considerando a falta de estradas que ligavam o Oeste Catarinense com as demais regiões. Em 1918 um decreto estabeleceu normas para a retirada da madeira e impostos municipais, visando reduzir o desmatamento (BELLANI, 1991).

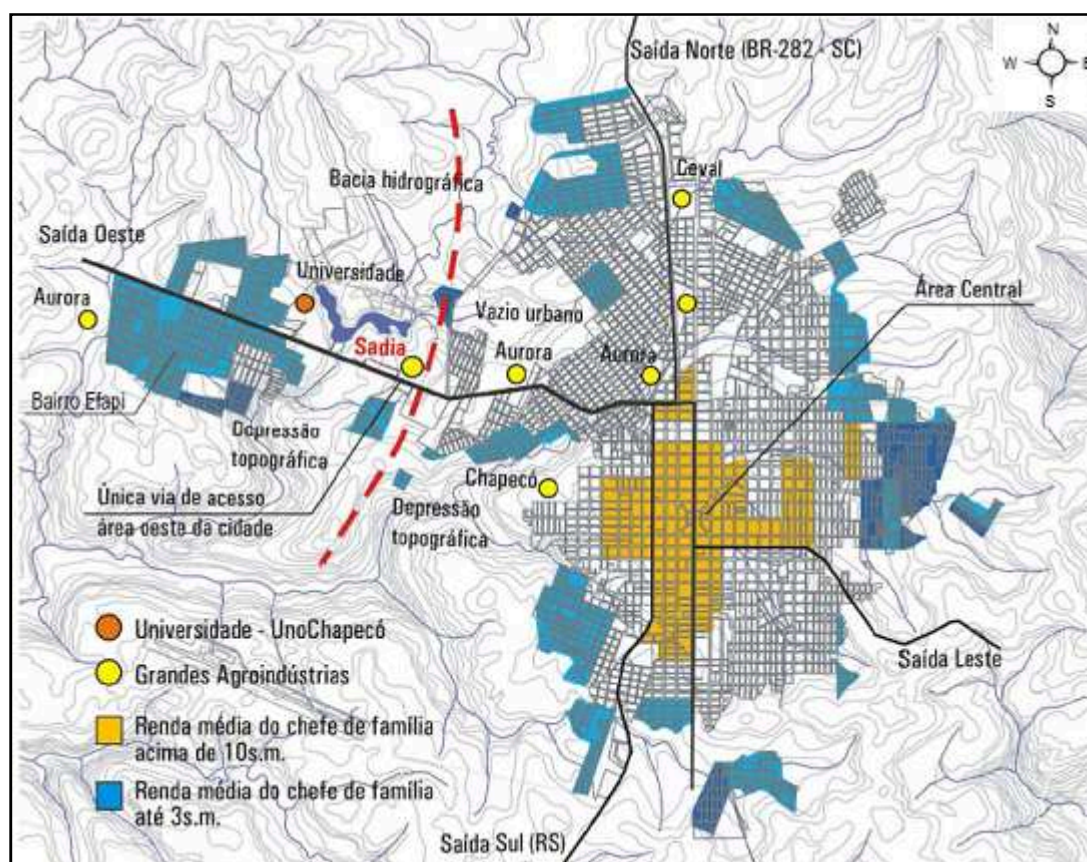
As companhias colonizadoras exerceram função essencial para a transformação da paisagem no Oeste Catarinense. Com a compra e venda de pequenas propriedades, Alba (2013, p. 30) menciona que

a terra deixou de ser exclusivamente natureza e fonte de alimentos das comunidades locais, para se transformar em capital, que gerou a riqueza das empresas colonizadoras e dos comerciantes que estabeleceram a relação de compra e venda entre os agricultores e o comércio regional e nacional.

O comércio da erva-mate e da madeira, assim como o excedente cultivado nas propriedades rurais, contribuiu para a acumulação do capital e que possibilitou a formação dos primeiros frigoríficos.

Com a possibilidade de trabalho nos frigoríficos, a cidade de Chapecó começou a atrair novos moradores; muitos deles procuraram residências próximas ao local de trabalho ou nas áreas periféricas, muitas vezes em locais com declividades acentuadas e próximos aos cursos d'água (Figura 31).

Figura 31 - Localização das agroindústrias em Chapecó e distribuição da população por extremos de renda em 2000



Fonte: (Rech, 2008).

Verifica-se que a população de menor poder aquisitivo encontra-se próxima às agroindústrias no oeste da cidade, bairro Efapi. A maioria das agroindústrias encontra-se nas bacias do lajeado São José e do Passo dos Índios.

Há uma tendência da expansão urbana para o oeste e para o norte do município. A ocupação na área central e nos demais bairros teve como referência os quatro Planos Diretores do município<sup>6</sup>: Plano de Desenvolvimento Urbano de 1974, Plano Diretor Físico-Territorial de 1990, Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial de 2004 e Plano Diretor de Chapecó de 2014; com alterações para dar conta das demandas com o crescimento populacional resultante das agroindústrias e do desenvolvimento econômico<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Para maiores detalhes sobre os Planos Diretores e políticas públicas municipais que influenciaram a organização sócio-espacial e ambiental urbana, consultar Rech (2008).

<sup>7</sup> Para mais aprofundamento sobre o papel do Estado na formação econômica espacial de Chapecó e a reprodução do espaço relacionado com as agroindústrias, consultar Alba (2013).

Vale ressaltar que, entre 1974 e 1980, a população da cidade duplicou, pois as agroindústrias atraíram novos moradores. Com o crescimento populacional, houve alteração, em 1980, do Plano Diretor de 1974, para que houvesse um zoneamento e tentasse impedir a ocupação irregular nas áreas de proteção ambiental por pessoas de menor poder aquisitivo na área central da cidade (Figura 28). Dessa forma, os trabalhadores fixaram-se próximos às agroindústrias e nas áreas periféricas (RECH, 2008).

A ocupação na década de 1950 iniciou na área central da cidade onde se encontra a Igreja Matriz, a praça central e a antiga sede da Prefeitura Municipal. Verifica-se que a expansão urbana está articulada com as atividades econômicas, principalmente com as agroindústrias. Para as regiões Sul e Sudoeste da cidade o fator que limita a expansão é a declividade mais acentuada.

Há uma tendência de a expansão urbana ocorrer na região Oeste, considerando a presença de agroindústrias e universidades; assim como na porção norte, na bacia do lajeado São José. A bacia do lajeado Passo dos Índios encontra-se em sua maior parte urbanizada.

Com as agroindústrias voltadas ao mercado internacional, Matiello et al. (2016) ressaltam que Chapecó insere-se na dinâmica do agronegócio. Além da criação de suínos e aves para estas agroindústrias, a bovinocultura está em expansão com a produção de leite, assim como o cultivo de produtos agroecológicos, principalmente com a agricultura familiar nas pequenas propriedades rurais.

O comércio fortalece o setor agroindustrial em Chapecó desde o processo de colonização. O comércio é diversificado com lojas especializadas para atender a demanda das agroindústrias e de outros setores, como na área da saúde.

A população em Chapecó no ano de 1940 era de 44.327 habitantes, em 1980 era de 83.765 habitantes, em 1991, em 2000 era de 146.967, em 2010 era de 183.530 habitantes e a população estimada em 2016 era de 209.553 habitantes (IBGE, 2016).

Alba et al. (2015, p. 64) comentam que este aumento populacional está associado não só aos fluxos migratórios de trabalhadores para os frigoríficos, mas também com o agronegócio como forte representação econômica. Além das atividades relacionadas a essa atividade, destacam-se serviços especializados na área da saúde e ensino superior.

Chapecó faz parte da Mesoregião do IBGE Oeste Catarinense e da Associação dos Municípios do Oeste de Santa Catarina – AMOSC, juntamente com o município de Cordilheira Alta.

### **5.2.2 Cordilheira Alta**

O município de Cordilheira Alta possui aproximadamente uma área de 84km<sup>2</sup>. A população era de 3767 habitantes no ano de 2010 e em 2016 era estimada em 4.253 habitantes, sendo a principal etnia a italiana (IBGE, 2016). O perímetro urbano encontra-se no divisor de águas e nas proximidades das nascentes do lajeado São José. O município de Cordilheira Alta encontra-se em áreas íngremes acima de 30% de declividade e para Silva, Oliveira e Schuh (2003), o nome Cordilheira Alta está relacionado com as características morfológicas.

A história de Cordilheira Alta tem algumas semelhanças com Chapecó em relação à colonização. A Colonizadora Ernesto Bertaso e Cia, empresa instalada em Chapecó por volta do ano de 1918, foi responsável pela colonização em grande parte de Cordilheira Alta. Muitos gaúchos foram para Cordilheira Alta em busca de terras, os lotes geralmente tinham 24 hectares (CORDILHEIRA ALTA, 2010).

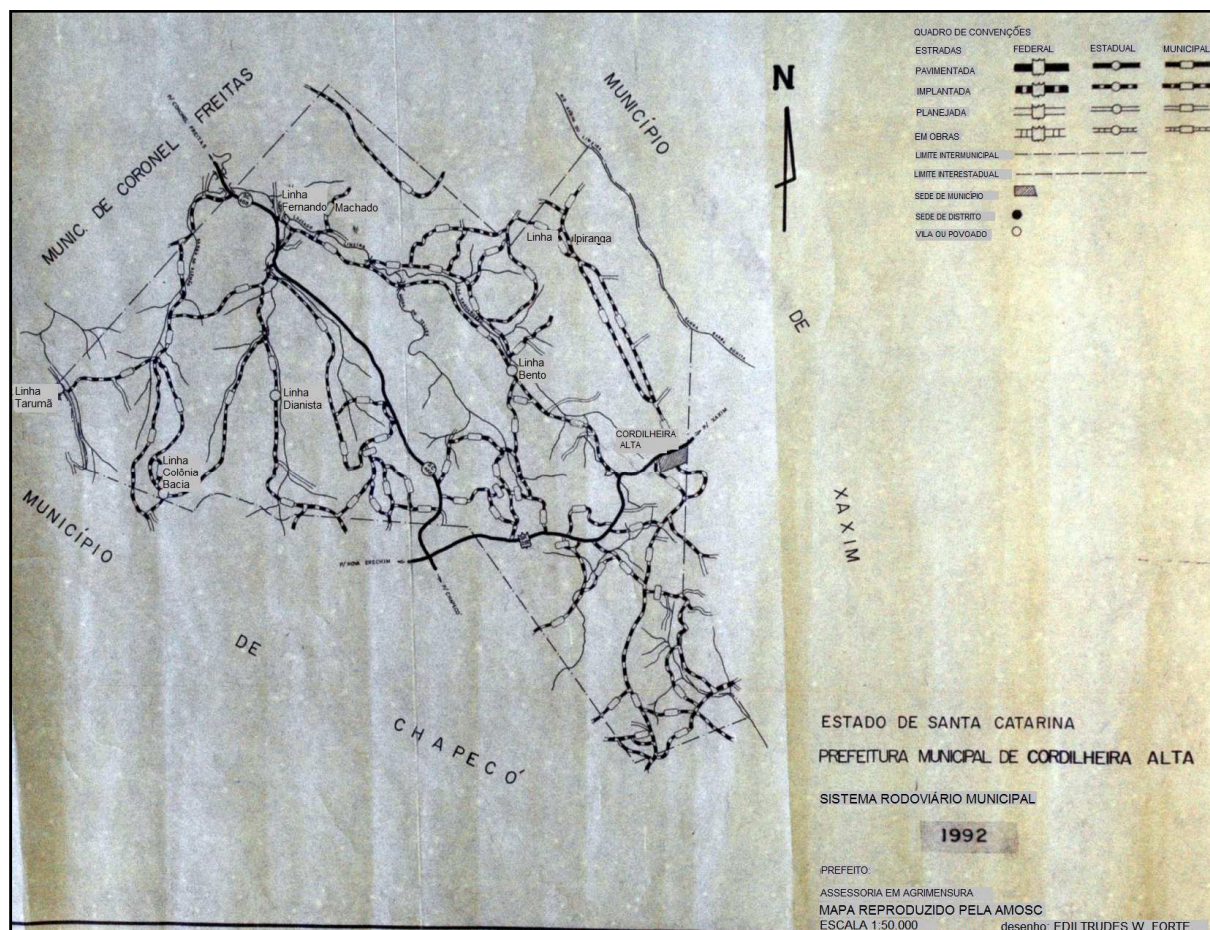
Em relação à economia na época da colonização, Silva, Oliveira e Schuh (2003) comentam que predominavam atividades de extração e produção agrícola/pecuária, sendo que a companhia colonizadora extraía principalmente a araucária, depois o cedro e angico, para depois vender as propriedades. Na década de 1940, a extração da madeira era interessante financeiramente e o fortalecimento do comércio da madeira ocorreu também com instalação de serrarias em Chapecó e Xaxim.

Os autores ainda ressaltam que a madeira de Cordilheira Alta também era transportada para o Rio Grande do Sul e Argentina através de balsas no rio Uruguai, como foi o caso de Chapecó. Cultivavam milho, feijão, mandioca, arroz e trigo, sendo trocados por outros produtos que não eram cultivados no município ou de difícil acesso como querosene e sal.

De acordo com Wagner (2005), Cordilheira Alta tornou-se município a partir de 01º/01/1993, após ser desmembrado de Chapecó (Figura 32).



Figura 32 – Município de Cordilheira Alta em 1992



Fonte: (Acervo do CEOM/Unochapecó – Adaptado por Cristina Otsuschi).

Até a década de 1940, a ocupação no atual município de Cordilheira Alta ocorreu principalmente no interior, nas localidades denominadas por “linhas”, como Dianista, Fernando Machado, Colônia Bacia, Ipiranga, Bento e Tarumã. A atual sede era denominada de Entroncamento, pois era via de acesso a Chapecó, Xaxim e outras localidades. Com a instalação de uma casa comercial, que fornecia pouso aos viajantes, aumenta a ocupação por colonos na sede (SILVA, OLIVEIRA, SCHUH, 2003).

O município caracteriza-se pela presença de pequenas propriedades rurais, alguns produtores rurais trabalham no sistema integrado com as grandes agroindústrias e outras optaram pela agricultura familiar sem a integração. Destaca-se a produção de: soja, trigo, cana-de-açúcar, feijão; assim como leite, aves e ovos.

Em Cordilheira Alta, o comércio destaca-se por ter mais pessoas ocupadas, seguidos no setor de serviços, indústria e por último, na agricultura. O comércio envolveu 609 pessoas em 2007, tendo uma redução para 498 pessoas nos anos seguintes e voltou a aumentar em 2010 para 523 pessoas e terminando em 2013 com 649 pessoas. O setor de serviços vem crescendo em 2007 tinha 183 pessoas ocupadas, em 2009 subiu para 398 e em 2013 para 551 pessoas. O setor da indústria tem significativa variação. Em 2007 tinha 274 pessoas ocupadas nesse setor, em 2008 foi para 290 pessoas e em 2009 para 254 pessoas. Em 2011 de 476 pessoas foi para 323 em 2013 e depois aumentou para 377 pessoas em 2013 (IBGE, 2014).

Vale ressaltar que alguns produtores rurais vão a Chapecó vender seus produtos nas feiras agroecológicas, muitos moradores de Cordilheira Alta trabalham ou estudam em Chapecó, até mesmo procuram serviços especializados na área de saúde, evidenciando a função de Chapecó como polo regional. No próximo capítulo apresenta-se o processo de fragmentação da mata nativa na área de estudo através do uso da terra entre 1989 e 2015.

## 6 EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA E DA MATA NATIVA

Nesse capítulo foram apresentadas algumas considerações relacionadas à ocupação nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios, ao uso da terra entre 1989 e 2015 com destaque à fragmentação da mata nativa remanescente.

### 6.1 OCUPAÇÃO E HIDROGRAFIA

Em 1989 a ocupação com edificações e construções (predomínio da área urbana) era praticamente de 10% e em 56,39% da área de estudo, tinham como tipos de usos o cultivo, o solo exposto e o pasto. Em 2015, as edificações aumentaram para 30,54% e a área com culturas anuais, solo exposto e pasto, reduziu para 49,63%.

O processo de fragmentação da mata nativa está associado às atividades econômicas e, principalmente à ocupação urbana considerando o crescimento populacional em Cordilheira Alta (Quadro 5) e com destaque para Chapecó (Quadro 6), município em que predominam as bacias estudadas.

Quadro 5 – População em Cordilheira Alta entre 1996 e 2016

Ano	População	Urbana	Rural
1996*	2.863	-	-
2000	3.093	303	2.790
2007*	3.361	-	-
2010	3.767	1.448	2.319
2016**	4.253	-	-

Fonte: (IBGE, 2017). Elaboração: Cristina Otsuschi.

\* Contagem populacional, 1996. \*\* Estimativa.

De 2000 a 2010, houve aumento de 674 habitantes em Cordilheira Alta, tendo destaque para meio urbano com aumento de 1.145 habitantes. Mesmo o meio urbano tendo aumento populacional significativo, a população continua sendo maior no meio rural.

Verifica-se em Chapecó, aumento de 99.758 habitantes em trinta anos, tendo aumento de 112.887 na população urbana e redução de 13.129 habitantes no meio rural. Em relação à redução da população rural indicada no censo de 2000, ressalta-se que houve a ampliação do perímetro urbano (CHAPECÓ, 2014).

Quadro 6: População residente em Chapecó entre 1980 e 2016

Ano	População	Urbana	Rural
1980	83.772	55.226	28.546
1991	123.050	96.751	26.299
1996*	129.794	-	-
2000	146.967	134.592	12.375
2007*	164.803	-	-
2010	183.530	168.113	15.417
2016**	209.553	-	-

Fonte: (IBGE, 2016).

\*Contagem populacional. \*\*Estimativa.

Entre 2000 e 2010, houve aumento de 36.563 habitantes na população urbana e de 3.042 na população rural em Chapecó. Com as oportunidades econômicas desde a colonização destacadas por Bavaresco (2006) com a pecuária, extração da erva-mate, madeira e agroindústrias; muitos vieram atraídos a Chapecó e cidades vizinhas, como Cordilheira Alta, contribuindo com o crescimento populacional e com a expansão urbana, principalmente de Chapecó.

Como em muitas cidades brasileiras, os cursos d'água (Figuras 31, 32 e Figura 33) serviram como referência para a ocupação tanto para Chapecó como para Cordilheira Alta. Os cursos d'água destes municípios (Figura 24) fazem parte da bacia hidrográfica do rio Uruguai.

Figura 33 – Desmatamento e ocupação às margens dos cursos d'água em Chapecó em 1932



Fonte: (Acervo do CEOM/Unochapecó).



Observa-se remanescente da vegetação nativa atrás das casas em que há destaque da araucária e o desmatamento até o curso d'água para construírem nas áreas mais planas e facilitando o acesso das pessoas aos mananciais para diversos usos. A retirada da cobertura florestal nativa nas margens dos cursos d'água mostra como a forma de ocupação inicial contribui com os problemas ambientais.

## 6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DA TERRA NA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do lajeado São José caracteriza-se por ter mais propriedades rurais e fragmentos da mata nativa, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios possui suas nascentes no meio rural e predomina a ocupação urbana.

### 6.2.1 **Bacia do lajeado São José**

A presença de propriedades rurais, universidade, agroindústrias, casas comerciais e residenciais, o Parque de Exposições Tancredo Neves e algumas fábricas geram preocupações quanto à proteção dos recursos naturais.

De acordo com Bassi (2002) a mata nativa na bacia do lajeado São José em 1990 era de 538,80ha e em 1996 era de 512,5ha. A área de eucalipto e *Ilex paraguariensis* aumentou de 437 para 664ha, assim como as áreas urbana e de recreação, com construções e estradas, horticultura e fruticultura de 1.880,80 para 1.932,60ha. O autor ainda comenta que predominava o cultivo anual, seguido por pastagem e florestas. De 1988 a 2000, as principais alterações no uso da terra foram o aumento significativo do processo de urbanização e principalmente, a implantação do sistema de plantio direto.

Para Bitoun (2003, p. 301), em algumas cidades ou bairros, houve atraso de décadas para o poder público oferecer infraestrutura e condições melhores de acesso a escola, posto de saúde, rede viária e abastecimento de água. Com o atraso histórico, “[...] o ambiente natural foi degradado e a população foi obrigada a conviver com esta degradação”. Realidade não muito diferente do bairro Vila Rica (Figura 28), em que a ausência de infraestrutura facilita o despejo de resíduos residenciais diretamente nos cursos d'água (Figura 34).

Figura 34 – Animais em áreas de nascentes e despejo de resíduos no afluente do lajeado São José



Foto: (Cristina Otsuschi).

Nesta propriedade rural verificou-se a presença de animais em área de nascentes, construção de moradia na margem do afluente do lajeado São José, assim como o despejo de resíduos residenciais neste afluente. Em áreas mais íngremes também foi possível observar a ocupação nas encostas (Figura 35).

Figura 35 - Vista parcial da encosta no bairro Vila Rica



Foto: (Cristina Otsuschi).

O bairro Vila Rica encontra-se em áreas de nascentes e além das moradias nas margens dos afluentes do lajeado São José, Bocalon e Otsuschi (2015) e Facco (2011) destacam a ocupação nas áreas de banhados. Com a expansão urbana para

o norte da cidade verificou-se que alguns banhados estão sendo aterrados para edificações e futuros loteamentos.

O bairro Vila Rica começou a ser ocupado na década de 1970 (FACCO, 2011) em Área de Preservação Permanente, bem distante dos demais bairros, tendo dificuldades com infraestrutura, como questões que envolvem o deslocamento. Próximo a esse bairro passa a rodovia BR 480, que liga o Rio Grande do Sul com Santa Catarina.

Desde a década de 1970, essa bacia hidrográfica passou a ser utilizada para captação de água para Chapecó (FACCO, 2011) e, como o tipo e a forma de uso e ocupação da terra podem comprometer os serviços ambientais dessa área, principalmente em relação à disponibilidade da água com qualidade, há uma preocupação com as atividades desenvolvidas nessa área.

Em 1978 ocorreu a implantação do primeiro aterro sanitário de Chapecó em área de banhado nas proximidades da Sanga Água Santa (Figura 24), que é afluente do lajeado São José. Esse aterro funcionou até 1980 e depois a deposição de resíduos sólidos urbanos foi transferida para outra área na bacia do lajeado Passo dos Índios (FACCO, 2011).

Para minimizar os efeitos negativos das atividades antrópicas, a bacia do lajeado São José passou por intervenções. Um exemplo é com o Projeto Microbacias/BIRD a partir de 1990.

Para a reversão da degradação do solo e na melhoria da qualidade da água houve uma gradativa e efetiva mudança na forma de preparo do solo, quando os produtores passaram a adotar o cultivo mínimo e o plantio direto sobre culturas de cobertura do solo, associado a obras físicas de apoio (terraços, murunduns e cordões vegetados) além do reflorestamento de áreas com aptidão para tal, a partir do planejamento individual das propriedades (ICEPA/SC, 1999, p.21).

A construção de casas também deveria ser planejada, tendo orientação técnica para evitar problemas ambientais, sociais e econômicos. Como os cursos d'água continuam sendo referências para a ocupação, algumas moradias foram construídas nas margens dos cursos d'água (Figura 36).

A retirada da mata ciliar pode contribuir com a perda de solo, com o aumento do escoamento superficial e da vazão, pois a infiltração da água pluvial no solo é menor. É importante ter outras ações para minimizar os impactos ambientais e recuperar as matas ciliares para não comprometer suas funções ambientais. Os

resíduos gerados nas residências geralmente são despejados nos cursos d'água, pois a proximidade das casas ao curso d'água e a inexistência de rede coletora de esgoto no meio rural, facilitam esse tipo de prática.

Figura 36 – Ocupação nas margens do lajeado São José



Foto: (William Zanete Bertolini, 2016).

Com o crescimento populacional e a tendência da ocupação na bacia do lajeado São José, houve outras tentativas para reduzir os impactos com a ocupação através dos planos diretores de 1974, 1980, 2004 e 2014 em Chapecó. Nesse último, a possibilidade de ocupação é maior se comparada com o de 2004, porém, apresenta restrições como a necessidade de conservar a vegetação conforme alguns critérios, como o tamanho mínimo do lote.

O plano diretor de Cordilheira Alta de 2010 menciona algumas medidas de proteção aos recursos naturais, com destaque para a vegetação (Figura 37), sendo importante executar um planejamento ambiental que considere a proteção dos recursos naturais no processo de expansão urbana em direção ao lajeado São José e seus afluentes.

Na bacia do lajeado São José predomina a zona rural em que a presença de cobertura florestal nativa é importante para possibilitar que a água na bacia hidrográfica permaneça por mais tempo. A substituição dessa vegetação pela

construção de moradias, por exemplo, implica no processo de fragmentação dos remanescentes interferindo nas funções ambientais.

Figura 37 – Vista parcial da bacia do lajeado São José em Cordilheira Alta, com destaque aos fragmentos de vegetação florestal



Fonte: (SOS Mata Atlântica).

A bacia do lajeado Passo dos Índios abrange vários bairros com pouca presença de áreas com remanescentes florestais, é uma bacia urbanizada com problemas ambientais como inundação e poluição hídrica.

#### 6.2.2 Bacia do lajeado Passo dos Índios

De acordo com Bottin (2007) e Zeni (2007), a ocupação antrópica (Figura 38) alterou bastante o meio natural e são encontrados poucos remanescentes da vegetação nos locais mais elevados topograficamente, sendo mais difícil a ocupação nessa bacia hidrográfica.

Observa-se em 1932, o desmatamento da mata ciliar e o aproveitamento das áreas mais planas para a ocupação nas margens do lajeado Passo dos Índios, sendo a atual avenida Getúlio Vargas e esquina com rua Benjamin Constant, centro da cidade de Chapecó. A vegetação retirada cedeu espaço para moradias e para o processo de urbanização dessa cidade.



Figura 38 – Lajeado Passo dos Índios em 1932



Fonte: (Acervo do CEOM/Unochapecó).

Com o lajeado Passo dos Índios drenando parte da área central da cidade, com as construções e a retirada da vegetação (Figura 39), quando há chuvas mais intensas, as inundações (Figura 40) começam a causar transtornos principalmente nas áreas mais baixas próximas ao curso d' água.

Figura 39 - Vista parcial da avenida Getúlio Vargas no centro de Chapecó em 1956



Fonte: (Acervo CEOM/Unochapecó).

Observa-se nessa figura, a avenida principal de Chapecó e na parte mais elevada a catedral, sendo possível visualizar parte da mata nativa. Na parte mais baixa as águas das chuvas acabam se concentrando no lajeado Passo dos Índios contribuindo com as inundações. Binda (2015) ressalta que há a dinâmica natural de enchente e inundações, mas que a ocupação e expansão urbana podem potencializar estes problemas ambientais.

Figura 40 - Inundação no lajeado Passo dos Índios no centro de Chapecó em 1963 e em 1975

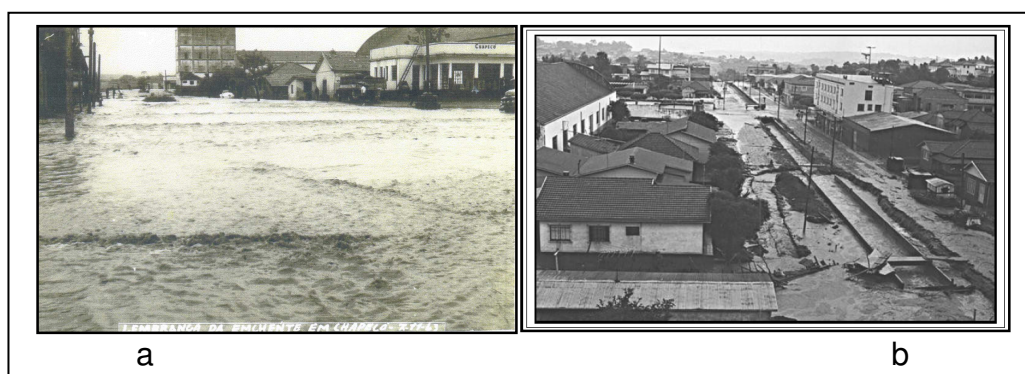


Fontes: (a. Acervo do CEOM/Unochapecó. b. Zolet Fotografias, reproduzida por Zeni, 2007).

A concentração de construções e a impermeabilização do solo dificultam a infiltração da água pluvial no solo. O local de ocorrência da inundação nas décadas de 1960 e 1970 é o mesmo da Foto 38.

A retirada da vegetação e a ocupação na bacia do lajeado Passo dos Índios nas proximidades dos cursos d' água, contribuíram com a ocorrência de inundações (Figura 41) na principal avenida da cidade. A canalização e a retificação de alguns trechos dos canais fluviais surgiram como tentativas para evitar as inundações e alagamentos, a proliferação de insetos e ocultar a poluição, assim como outros problemas.

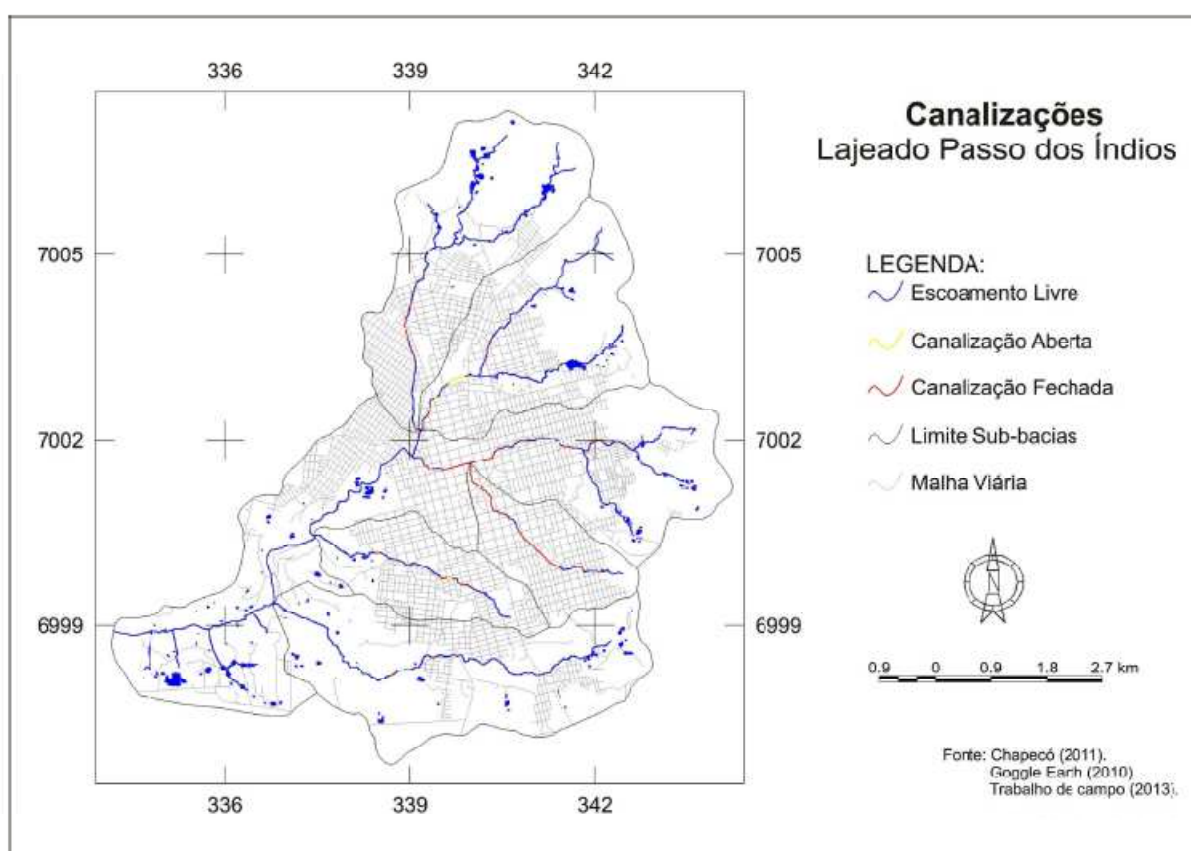
Figura 41 – Inundação em 1963 e a canalização do lajeado Passo dos Índios no Calçadão na década de 1970



Fontes: (a. Acervo CEOM/Unochapecó. b. Zolet Fotografias, reproduzida por Zeni, 2007).

Esta área é conhecida pelos moradores da cidade como Calçadão e muitos nem sabem que há um curso d'água drenando o local, pois trechos do lajeado Passo dos Índios foi canalizado após algumas inundações, como na década de 1960. A canalização também foi realizada em vários segmentos dos afluentes do lajeado Passo dos Índios (Figura 42).

Figura 42 - Canalização no lajeado Passo dos Índios e seus afluentes



Fonte: (Binda, Fritzen, 2013).

Na década de 1960, o lajeado Passo dos Índios começou a ser canalizado na rua Benjamin Constant (Figura 43), entre 1973 e 1977 na gestão do prefeito Altair Wagner, houve a continuidade desta obra e também no lajeado Santa Maria totalizando quase 1.500m de canalização. Outras obras de retificação de nascentes e outros cursos d' água ultrapassaram a 21km no perímetro urbano e em outros rios, tendo como motivo a formação de focos de mosquitos em decorrência das águas paradas após as enchentes e os alagamentos (WAGNER, 2005).



Com o crescimento populacional e a expansão urbana, houve uma concentração populacional na bacia do lajeado Passo dos Índios e aumento tanto da área impermeabilizada. De acordo com Binda e Fritzen (2013), a bacia do lajeado Passo dos Índios possuía 6,82km de canalização fechada, 0,55km de canalização parcial/aberta 45,24km de canais com escoamento livre, totalizando 52,61km. Mesmo com as intervenções nos cursos d' água as inundações continuam ocorrendo em Chapecó (Figura 43).

Figura 43 – Vista parcial do início do Calçadão no centro de Chapecó em 2013.



Fonte: (Alex Pacheco, 2013).

No dia 1º de abril de 2013, após uma chuva intensa várias partes de Chapecó tiveram problemas com inundações e alagamentos, como no Calçadão em que o lajeado Passo dos Índios foi canalizado para evitar as inundações de décadas anteriores.

Araújo, Almeida e Guerra (2005, p. 64) comentam sobre os efeitos da urbanização:

[...] as mudanças na hidrologia natural de uma área são inevitáveis. [...]. Os maiores problemas são o grande aumento nos volumes de escoamento superficial e as subsequentes cargas de erosão e sedimentos às águas superficiais que acompanham essas mudanças na paisagem.

Para minimizar os problemas decorrentes da urbanização é importante conhecer a dinâmica dos processos ambientais para não potencializar os efeitos negativos. Fazendo um resgate histórico sobre a formação das cidades no Brasil, a apropriação do solo revela-se sobre um “círculo vicioso” em que “[...] os setores sociais mais poderosos [...]” têm acesso às melhores terras, enquanto “[...] os

setores menos poderosos e mais pobres [...]” ocupam muitas vezes, as planícies de inundação e as encostas íngremes (BITOUN, 2003, p. 300).

Em Chapecó, essa realidade fica evidente na área de estudo (Figura 44) considerando que muitos moradores foram atraídos pela oferta de trabalho e com a dificuldade em fixar-se na área central da cidade, optaram pelas áreas mais afastadas ou menos valorizadas.

Figura 44 - Vista parcial da ocupação na margem direita com destaque ao despejo do esgoto residencial no lajeado Passo dos Índios



Foto: Bruno Casaka. Data: 28/11/2013

Essas residências foram construídas há mais de 30 anos e muitos moradores vieram para trabalhar nas agroindústrias. Nesse local, o lajeado Passo dos Índios é o limite entre os bairros SAIC, Jardim América e Jardim Itália (Figura 28). A encosta é mais íngreme, a mata ciliar foi retirada e substituída por residências simples e lojas.

Em várias casas é perceptível a ausência da rede coletora de esgoto, depósito de resíduos sólidos urbanos nas encostas e os resíduos residenciais são lançados no curso d' água. Alguns metros após essas casas ocorrem várias cascatas (Figura 45) e muitos moradores não sabem da existência de uma área que poderia ser mais valorizada com várias finalidades, como educação ambiental e turismo.

Logo após essas cascatas, foi construída a primeira usina hidrelétrica em Chapecó conforme mencionado no início deste capítulo. Considerando as

declividades e o acesso mais difícil para ocupação, a vegetação contribui na proteção do lajeado.

Figura 45 – Cascatas no lajeado Passo dos Índios



Fonte: (Zeni,2007).

Uma preocupação, a ser considerada no processo de expansão urbana e com as atividades agrícolas na área de estudo, é a redução das áreas com vegetação remanescente do bioma Mata Atlântica, em destaque ao ecossistema Floresta Ombrófila Mista. Tucci e Clarke (1997) ressaltam a importância em conhecer o processo de substituição da mata nativa por outros tipos de uso.

### 6. 3 USO DA TERRA

Para compreender a contribuição da mata nativa nas funções ambientais é interessante conhecer o processo de fragmentação da mata nativa através do uso da terra de 1989 (Figura 46), 1996 (Figura 47), 2010 (Figura 48), 2015 (Figura 49), 2015 – APP (Figura 50), 2015 – Cultivo (Figura 51) e 2015 – Edificações (Figura 52). Inicialmente foi realizada uma análise do uso da terra de cada ano, considerando as diferenças entre as bacias hidrográficas das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios. Posteriormente, foi feita a comparação entre os diferentes anos, com ênfase na evolução da cobertura florestal nativa.





Figura 46 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1989

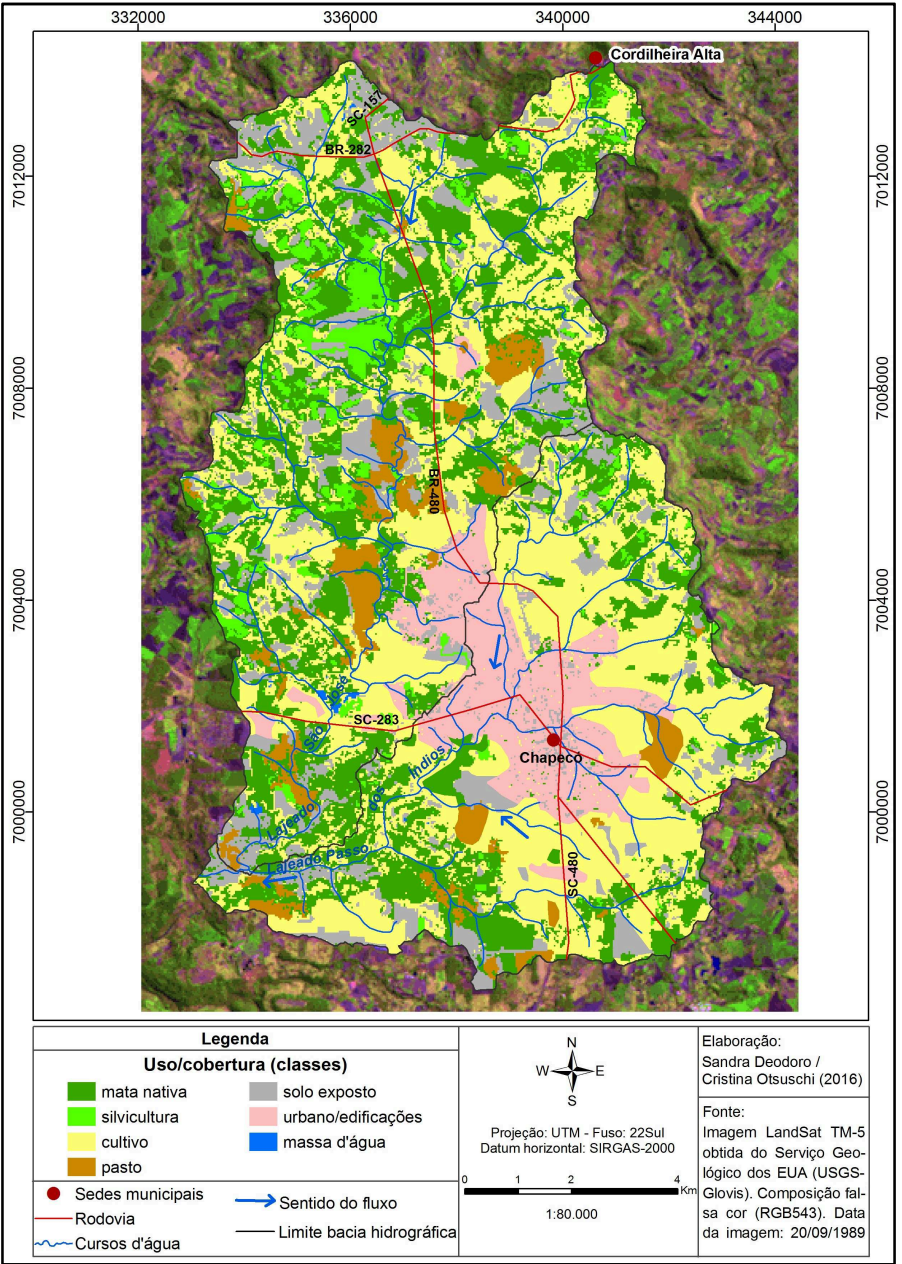


Figura 47 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1996

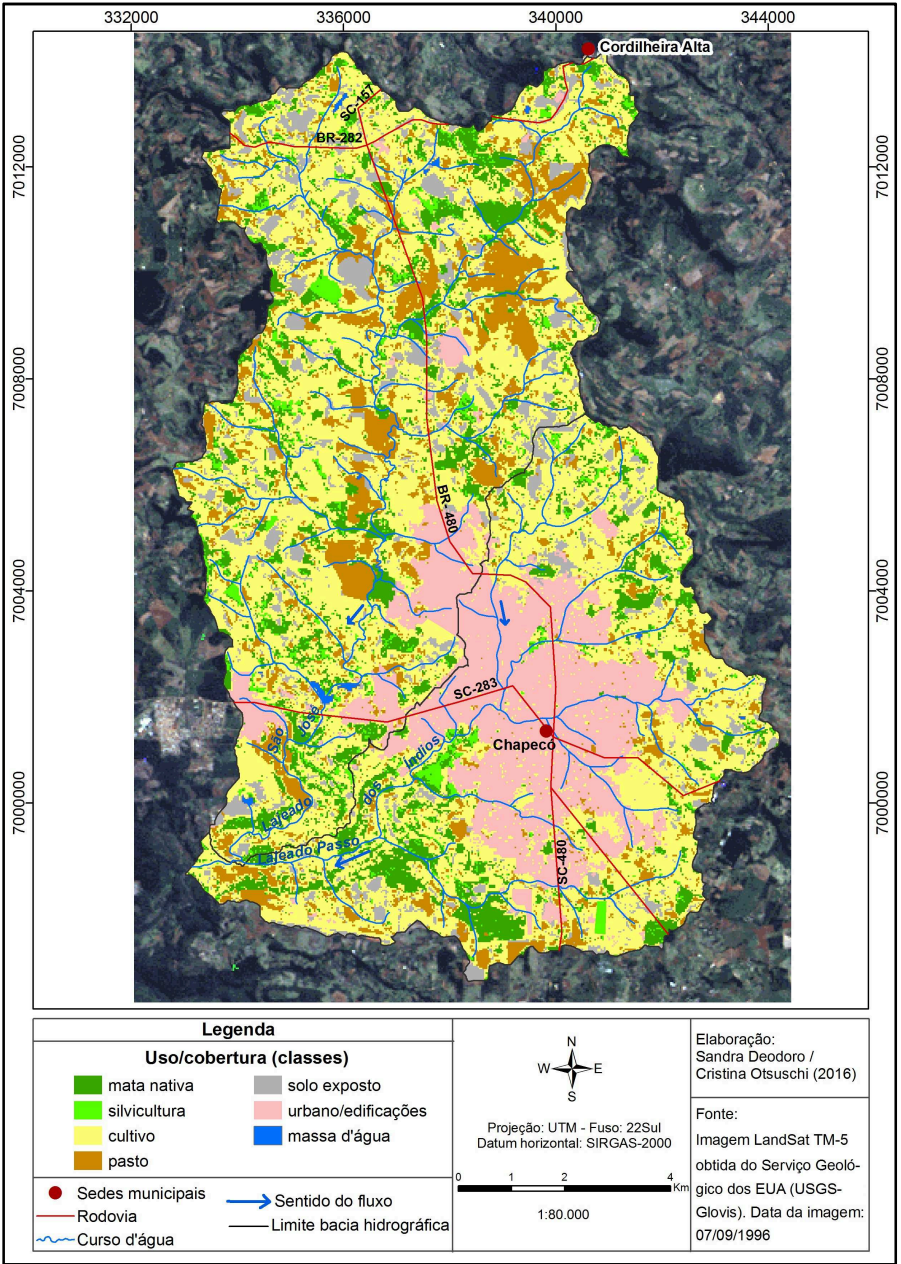


Figura 48 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2010

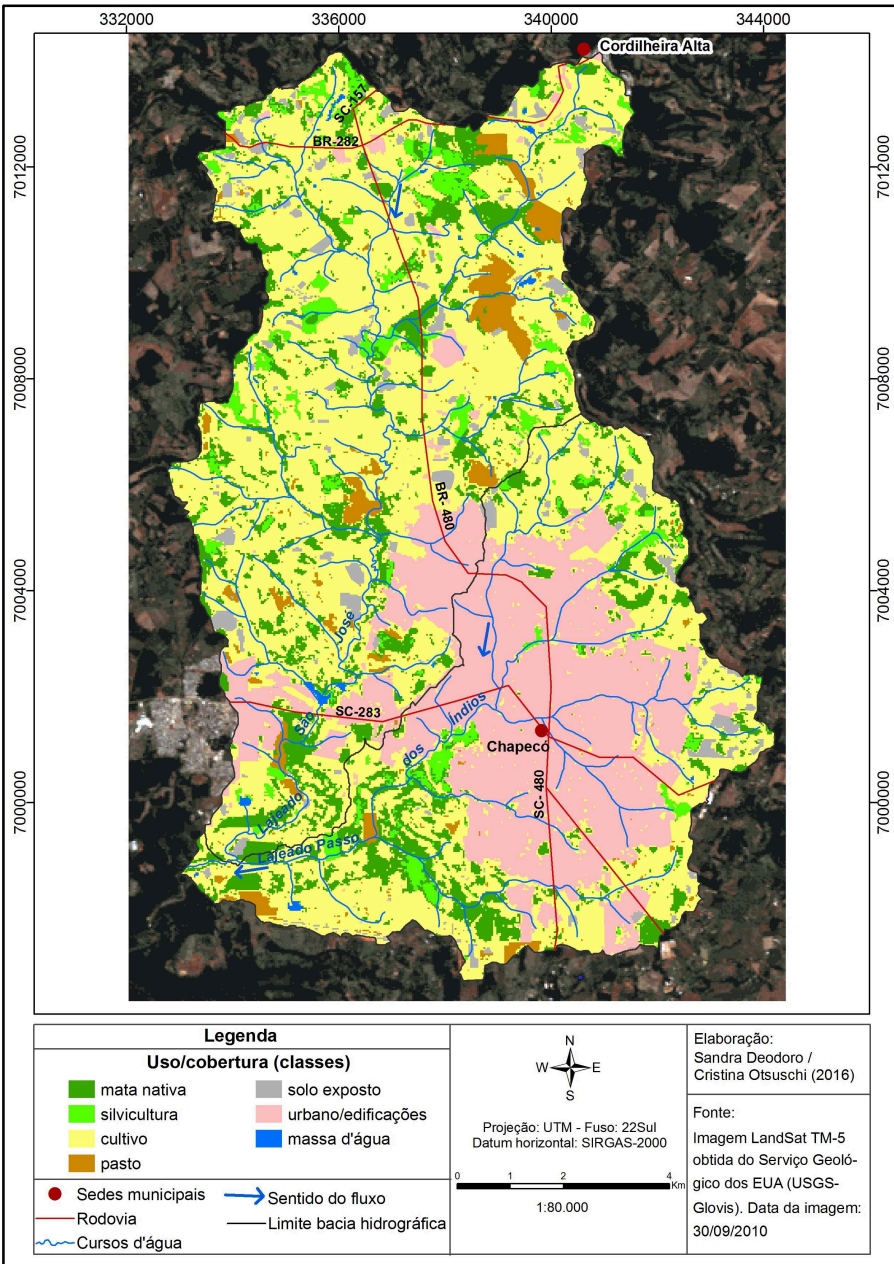
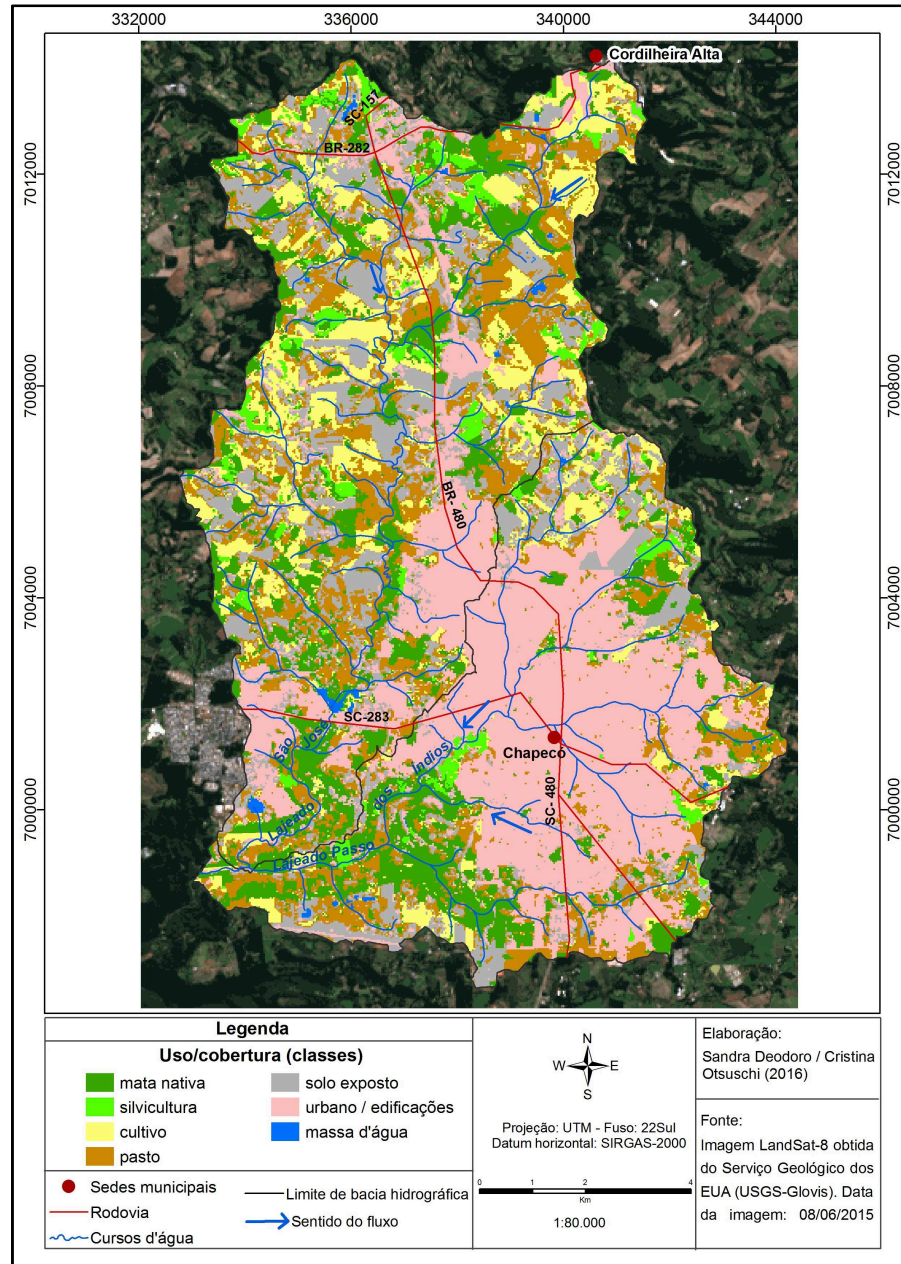


Figura 49 - Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015







### 6.3.1 Uso da terra em 1989

Na bacia do lajeado São José predomina a vegetação nativa remanescente (Figura 46) com 19,48% de cobertura, seguido por culturas anuais com 19,14%, solo exposto com 8,53%, silvicultura com 4,44%, pasto com 3,72%, edificações com 2,58% e massa d' água com 0,12%.

A mata nativa remanescente encontra-se principalmente em áreas de nascentes e ao longo de alguns trechos dos cursos d' água. No norte desta bacia, alguns fragmentos encontram-se entre 680 e 820m e nas proximidades do divisor de água entre 15% e 45% de declividade.

A silvicultura encontra-se geralmente nas proximidades dos fragmentos de mata nativa. Uma área com este tipo de uso da terra que se destaca localiza-se entre o lajeado Tormen e a sanga dos Rosas (Figura 24), predominando declividades entre 0 e 25%.

A concentração de edificações caracterizando a ocupação urbana situa-se na parte leste da bacia, predominando entre 0 e 25% de declividade e entre 600 e 680m de altitude.

Grande parte dos pastos encontra-se entre 600 e 680m de altitude e entre 0 e 15% de declividade. Mais ao sul da bacia há alguns pastos acima de 15% de declividade. As áreas de cultivos encontram-se, principalmente, nas regiões Norte, Nordeste, Leste e nas proximidades do divisor de águas em direção aos cursos d' água, estando diluídas entre os demais usos da terra. Áreas de solo exposto encontram-se em diferentes declividades, no sul desta bacia encontra-se em áreas mais íngremes acima de 15% de declividade, assim como no norte e noroeste dessa bacia.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios há o predomínio das culturas anuais com 19,08%, seguido por mata nativa com 9,04%, ocupação urbana com 7,47%, solo exposto com 4,38%, pasto com 1,51%, silvicultura com 0,5% e massa d' água com 0,01%.

A ocupação urbana na bacia do lajeado Passo dos Índios é uma continuidade urbana da bacia no lajeado São José envolvendo parte do divisor de águas indo em direção ao oeste e ao sul, predominando altitudes de 600 a 760m e declividades entre 0 e 25%. A ocupação encontra-se em algumas áreas mais íngremes acima de

25%. O entorno da ocupação urbana é caracterizado pela área de cultivo com predomínio de declividades entre 0 e 25%, sendo encontrado também, em alguns trechos entre 25 e 45% e indo em direção à confluência entre os lajeados principais, as declividades aumentam para acima de 45%.

O solo exposto aparece inserido nas áreas de cultivo principalmente entre 680 e 760m de altitude e em diferentes declividades. As áreas de pastagem encontram-se, geralmente, entre as áreas de cultivo nas áreas mais planas e nas áreas mais íngremes acima de 25% de declividade, os pastos estão próximos da mata nativa e do solo exposto.

A maioria dos fragmentos de vegetação nativa remanescente encontra-se nas proximidades das nascentes. Destaca-se a presença desta vegetação nas margens do lajeado Palmital (Figura 24), com predomínio de declividades entre 0 e 25% nas áreas entre 680 a 760m de altitude. Os fragmentos maiores encontram-se nas áreas com declividades entre 15% e acima de 25%. Algumas áreas de silvicultura foram registradas próximas às áreas com mata nativa e de cultivo.

Em 1989, predominaram as áreas de cultivo com 28,52% da área de estudo, em segundo lugar destacou a vegetação nativa remanescente com 28,52%, seguido de solo exposto com 12,91%, ocupação urbana com 10,05%, pasto com 5,23%, silvicultura com 4,94% e massa d' água com 0,13%.

### **6.3.2 Uso da terra em 1996**

Na bacia do lajeado São José, as culturas anuais predominavam com 30,18%, destacando depois as áreas de pastagem com 9,14%, mata nativa com 7,56%, solo exposto com 5,4%, seguido por edificações/ocupação urbana com 3,56%, silvicultura com 1,96% e massa d' água com 0,2% (Figura 47).

Comparando-se o uso da terra entre 1989 e 1996, verifica-se que houve aumento de 0,98% das edificações/ocupação urbana, 5,42% de pasto e de 11,04% para as áreas de cultivo. Desta forma, as áreas de solo exposto foram reduzidas em 3,13%, a mata nativa em 11,92% e silvicultura em 2,48%.



Na bacia do lajeado Passo dos Índios predominavam as áreas de cultivo com 18,24%, a ocupação urbana com 13,11% seguida pela mata nativa com 12,16%, pasto com 12,04%, solo exposto com 7,48% e silvicultura com 3%.

Nas duas bacias hidrográficas estudadas, verificou-se que de 1989 a 1996, houve aumento de 0,54% de silvicultura, de 5,64% de edificações e de 1,39% de pasto. Porém, reduziram 4,44% de mata nativa, 2,3% de solo exposto e 0,84% de área de cultivo.

De acordo com Bassi (2002) foram implementadas em Chapecó, no início da década de 1990, algumas intervenções nas propriedades rurais visando minimizar processos erosivos, perda de solo, assoreamento entre outros problemas que empobrecem o solo. A redução do solo exposto pode ser resultado dessas medidas. Algumas áreas de silvicultura e de mata nativa foram substituídas por pastos e culturas relacionadas à criação do gado leiteiro.

### **6.3.3 Uso da terra em 2010**

Na bacia do lajeado São José as culturas anuais continuam predominando com 36,32%, seguido por mata nativa com 8,11%, edificações com 5,28%, silvicultura com 3,21%, pasto com 2,8% e solo exposto com 2,12% (Figura 48).

Entre 1996 e 2010 houve aumento da mata nativa em 0,55%, da silvicultura em 1,25%, culturas anuais com 6,14% e ocupação urbana/edificações com 1,72%. Para compensar estes aumentos, as áreas que reduziram foram: solo exposto com 3,28% e pasto com 6,34%. Algumas áreas de cultivo próximas aos pastos podem ter culturas como o milho que é destinado ao gado, que seria considerada como pastagem anual e não como pasto perene.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios a área de mata nativa aumentou em 0,2%, a silvicultura em 0,37%, a ocupação urbana e edificações em 6,15%, enquanto o solo exposto reduziu em 1,33%, a área com culturas anuais em 3,01% e pasto em 2,47%.

O aumento da silvicultura ocorreu principalmente em altitudes entre 680 e 760m nas proximidades do divisor de água ou dos cursos d' água na bacia do lajeado São José.

A expansão urbana na área de estudo decorre do aumento populacional em Chapecó, que de acordo com Mattiello et al. (2016) foi de 119,08% entre 1980 e

2010. As possibilidades de emprego nos frigoríficos ou com a diversidade de indústrias, comércio e outros serviços especializados acabam sendo focos de atração, assim como no setor de educação que atraem estudantes que optam em morar na cidade, assim como trabalhadores que preferem morar perto do local do serviço.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios observa-se que a expansão urbana vai em direção ao divisor de água e às áreas de nascentes, principalmente dos lajeados São Pedro, Santa Maria e Santo Antônio. Na bacia do lajeado São José verifica-se a expansão urbana em direção ao bairro Efapi (Tabela 6) e há algumas áreas ocupadas em direção à Cordilheira Alta, tendo a rodovia BR 480 como referência.

Tabela 6 – Síntese dos loteamentos aprovados nos bairros que fazem parte das bacias dos lajeados São José e Passo dos Fortes entre 1997 e 2010

Bacias	Bairros	Loteamentos
Bacia do lajeado São José	Efapi	22
	Engenho Braun	4
	Vila Rica	1
	Trevo	1
Bacia do lajeado Passo dos Índios	Presidente Médici	8
	Passo dos Fortes	6
	Líder	5
	Santo Antônio	5
	Esplanada	5
	Seminário	2
	Bom Pastor	2
	Maria Goretti	2
	Alvorada	2
	São Cristóvão	1
	Boa Vista	1
	São Pedro	1
	Pinheirinho	1
Total		69

Fonte: (Chapecó, 2014a). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

A aprovação de 22 loteamentos no período de três anos no bairro Efapi e 4 loteamentos no bairro Engenho Braun é um elemento importante para confirmar a tendência de expansão urbana para o oeste de Chapecó e na bacia hidrográfica do lajeado São José. Tendo como referência a BR 480 outra tendência é a expansão urbana na direção norte do município, em que foram aprovados dois loteamentos nos bairros Vila Rica e Trevo.

A expansão na bacia do lajeado Passo dos Índios pode ser observada nos mapas de 1989 a 2010 e no mapa de uso da terra de 2015, que evidenciam os 41 loteamentos aprovados em três anos.

#### **6.3.4 Uso da terra em 2015**

Na bacia do lajeado São José predominavam áreas de pasto com 13,93% de cobertura, solo exposto com 12,4%, culturas anuais com 9,91%, mata nativa com 9,83%, edificações e ocupação urbana com 9,36%, silvicultura com 2,34% e massa d' água com 0,29% (Figura 49). Ressalta-se que parte do solo exposto pode ter áreas em preparo para o cultivo.

Entre 2015 e 2010 houve aumento da mata nativa em 1,72%, assim como solo exposto com 10,28%, ocupação urbana e edificações com 4,08% e pasto com 11,13%. A redução de silvicultura foi de 0,07% e de culturas anuais foi de 26,41%.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios a ocupação urbana e edificações tinham 21,17%, seguido por mata nativa com 6,25%, pasto com 5,99%, solo exposto com 4,87%, culturas anuais com 2,54%, silvicultura com 1,04% e massa d' água com 0,08%.

Para esta bacia verificou-se aumento de 1,45% na mata nativa, 4,12% de solo exposto, 5,56% de pasto e de 1,91% de edificações e ocupação urbana. Porém, houve diminuição de 0,37% de silvicultura e de 12,69% de culturas anuais.

O aumento de edificações e ocupação urbana na bacia do lajeado São José é significativo em direção oeste para o bairro Efapi e em direção norte acompanhando a BR 480, evidenciando a expansão urbana de Cordilheira Alta conforme comentado no item 6.3.3. Na bacia do lajeado Passo dos Índios as áreas de cultivo nas proximidades das nascentes reduziram significativamente, sendo substituídas por construções. Algumas nascentes encontram-se em áreas de pastagem, solo exposto tendo pouca mata nativa.

A cobertura florestal nativa teve aumento tanto na bacia do lajeado São José quanto na bacia do lajeado Passo dos Índios, sendo possível considerar que algumas áreas de silvicultura estavam inseridas nos fragmentos da mata nativa e, no intervalo de cinco anos, não foi possível distinguir silvicultura da mata nativa pelo porte arbóreo na imagem de satélite.

### 6.3.5 Uso da terra em 2015 - APP

Para verificar a importância da vegetação florestal nativa na área de estudo para as funções ambientais, o mapa de uso da terra de 2015 serviu como referência para simular Áreas de Preservação Permanente (Figura 50) conforme as leis ambientais.

Na bacia do lajeado São José, a mata nativa teria o predomínio com 14,66%, seguido por pasto com 12,32%, solo exposto com 11,13%, culturas anuais com 9,06%, edificações ou ocupação urbana com 8,5%, silvicultura com 2,12% e massa d' água com 0,26%.

As Áreas de Preservação Permanente de topo de morro foram identificadas no nordeste e no leste da bacia com 760 e 820m. de altitude. Perto da confluência entre os dois lajeados foram identificados algumas Áreas de Preservação Permanente de topo de morro que variam de 520 a 600m e de 600 a 680m de altitude.

Nas proximidades da confluência entre os lajeados São José e Passo dos Índios concentram-se as Áreas de Preservação Permanente com declividades acima de 100% ou 45°. Também foram representadas as Áreas de Preservação Permanente nas nascentes e margens dos cursos d' água.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios predominam edificações e ocupação urbana com 19,66%, tendo 9,21% de mata nativa, 5,39% de pasto, 4,4% de solo exposto, 2,32% de culturas anuais, 0,91% de silvicultura e 0,06% de massa d' água. As Áreas de Preservação Permanente de área de topo de morro encontram-se no leste da bacia, próximas ao limite com a bacia do lajeado São José entre 760 e 820m de altitude e também próxima à nascente da sanga Iracema (Figura 24).

Como na bacia do lajeado São José, as Áreas de Preservação Permanente de declividades acima de 45% concentram-se próximo da confluência entre os lajeados São José e Passo dos Índios. A bacia do lajeado Passo dos Índios tem menos Áreas de Preservação de nascentes e margens de rios, considerando que possui menos cursos d' água em relação à bacia do lajeado São José.



Figura 50 – Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando APP

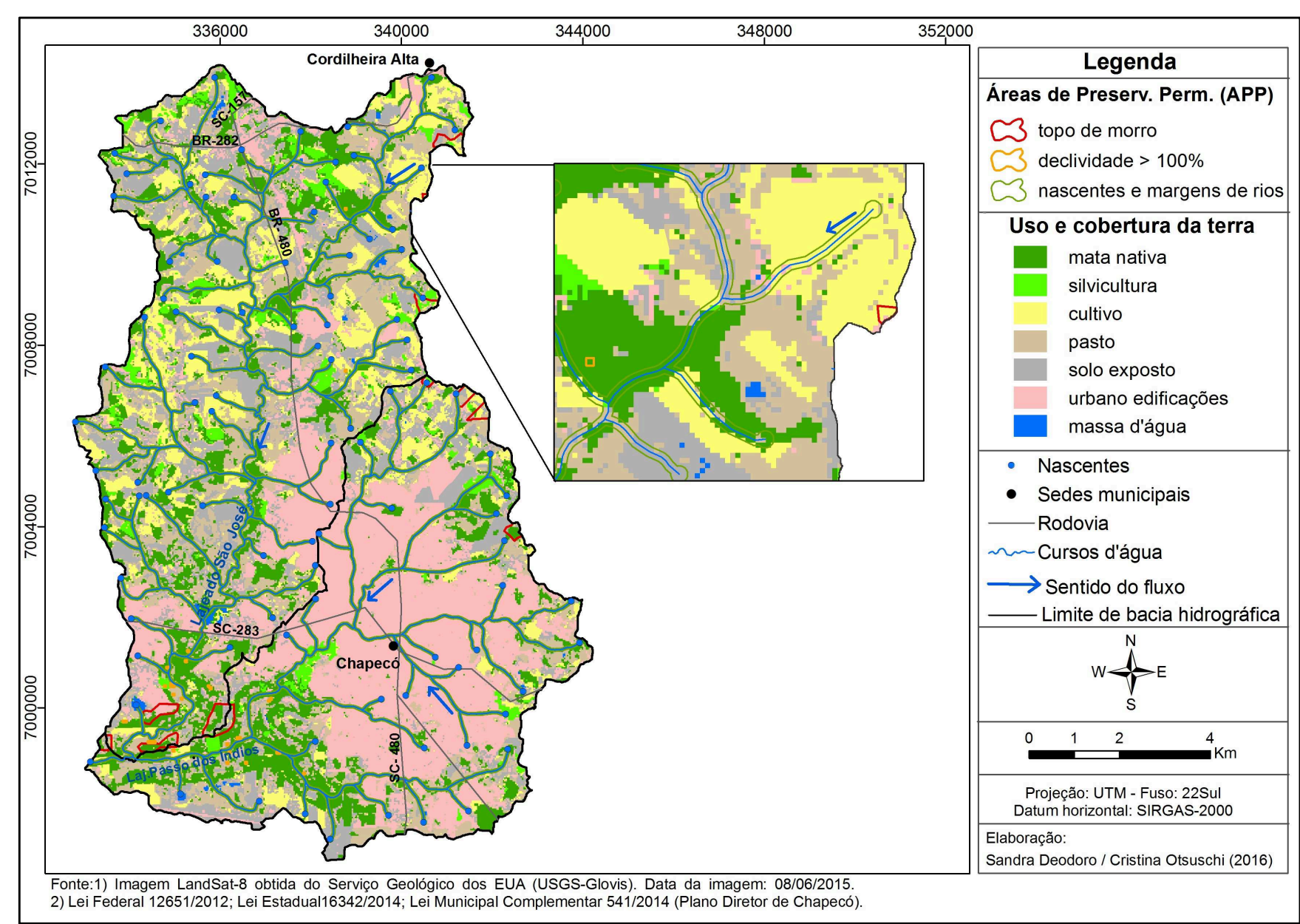


Figura 51 – Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando Cultivo

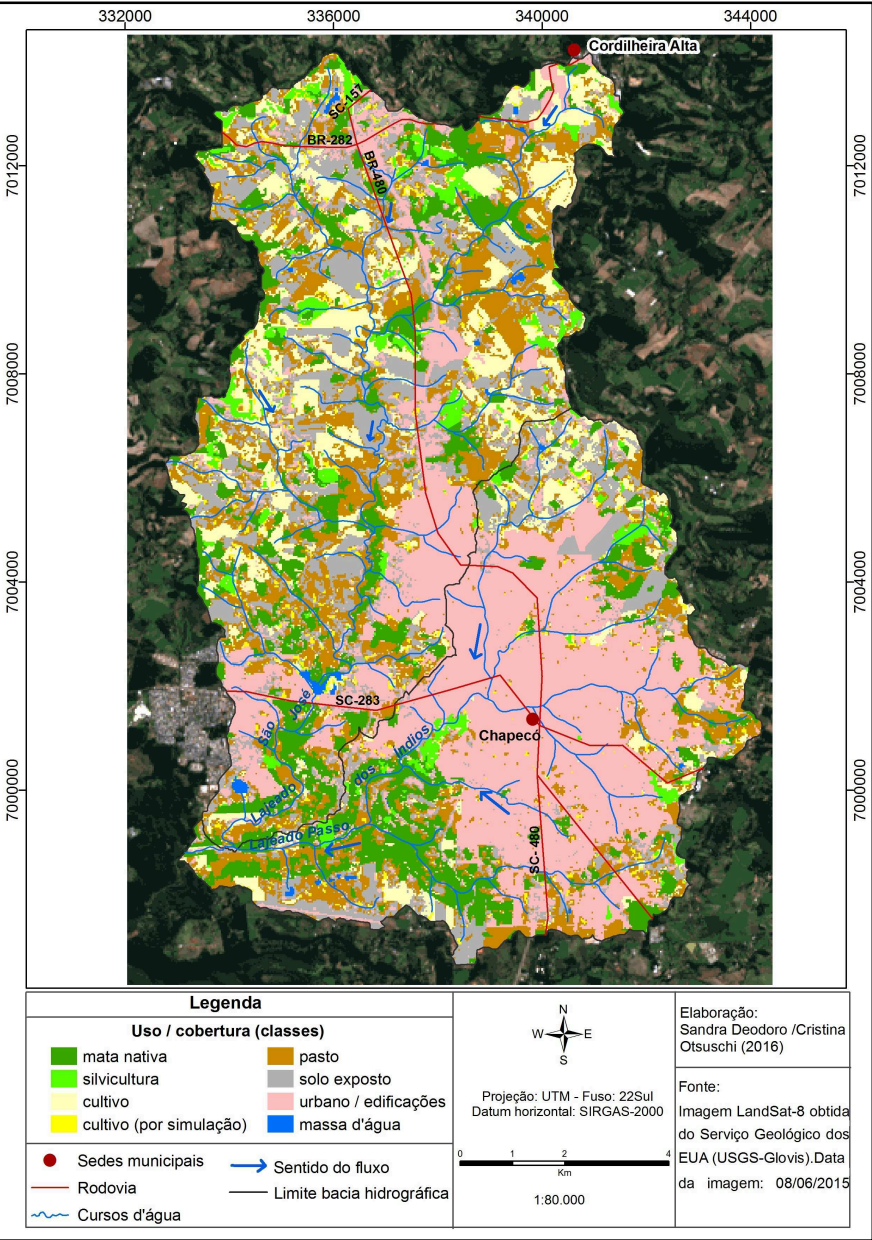
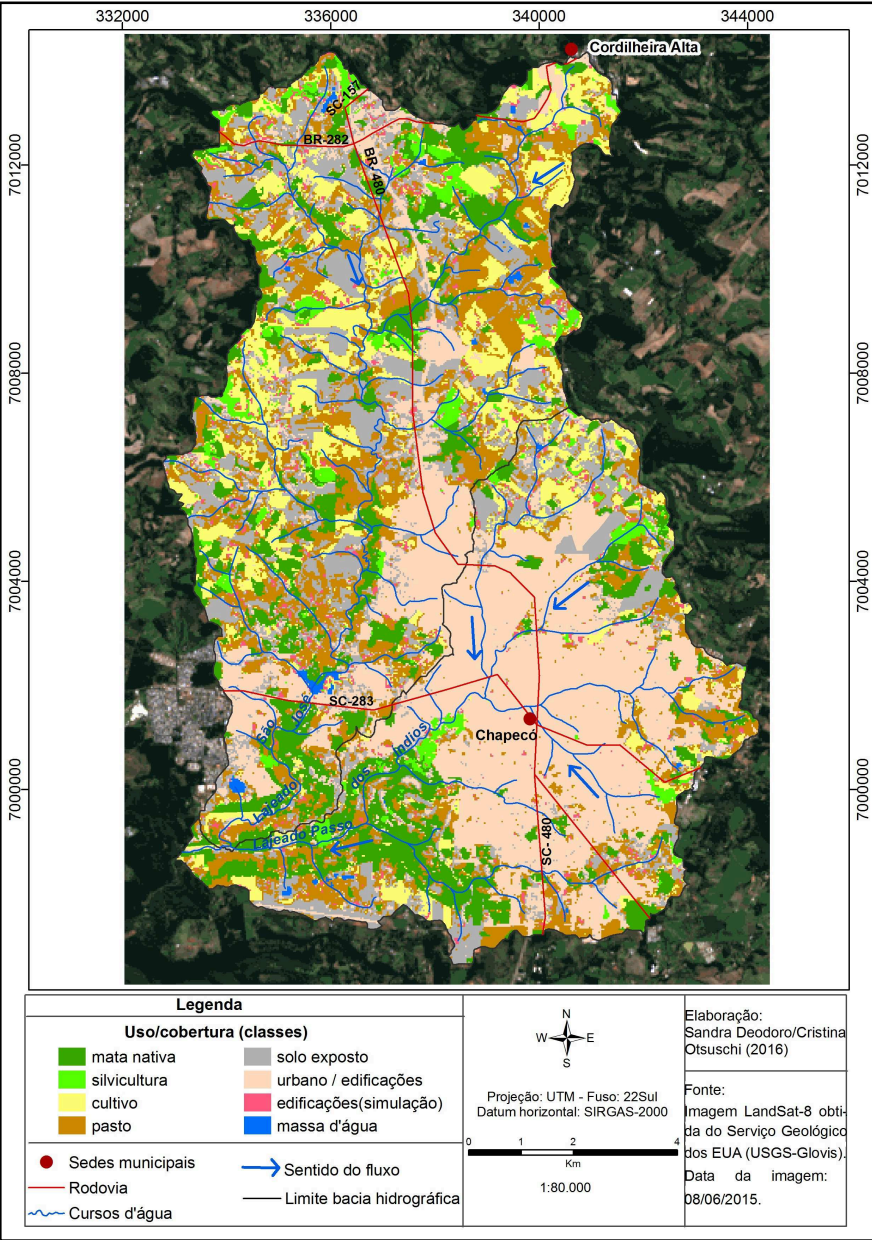


Figura 52 – Uso da terra das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando Cultivo







Para a bacia do lajeado São José se as Áreas de Preservação Permanente fossem respeitadas conforme as leis ambientais, a mata nativa aumentaria em 4,83%, enquanto as demais classes de uso da terra teriam decréscimo de 0,22% de silvicultura, 1,27% de solo exposto, 0,85% de culturas anuais, 0,86% de edificações/ocupação urbana e 1,61% de pasto. Na bacia do lajeado Passo dos Índios teria aumento de 2,96% de mata nativa e redução de 0,13% de silvicultura, 0,47% de solo exposto, 0,22% de culturas anuais, 1,51% nas edificações/ocupação urbana e 0,6% de pasto.

#### **6.3.6 Uso da terra em 2015 - Cultivo**

Para conhecer os efeitos da retirada da mata nativa para ampliar outros usos, foi feita simulação com base no mapa de uso da terra de 2015 retirando fragmentos de vegetação menores ou iguais a 1 hectare e substituindo por culturas anuais, isto é, áreas de cultivo (Figura 51).

Na bacia do lajeado São José teria o predomínio de pasto com 13,93%, solo exposto com 12,4%, as culturas anuais seriam de 11,41%, a mata nativa de 8,33%, as edificações com 9,37%, a silvicultura com 2,34% e a massa d' água com 0,29%. Os fragmentos de mata nativa retirados representam 1,5% o que corresponde aproximadamente a 191,56 hectares a mais de culturas anuais.

Para a bacia do lajeado Passo dos Índios a ocupação urbana teria 21,17%, o pasto 5,99%, a mata nativa 5,62%, solo exposto 4,87%, culturas anuais 3,17%, silvicultura 1,04% e massa d' água 0,08%. Dessa forma, 0,63% da mata nativa foi substituído por áreas de cultivo, o que corresponde aproximadamente a 80,46 hectares. Praticamente, foram retirados 2,13% da mata nativa na área de estudo, ou seja, aproximadamente 272,02 hectares de áreas de cultivo simuladas.

O mesmo procedimento para a simulação, ampliando a área de cultivo foi realizado para simular a ocupação e a expansão urbana na área de estudo.

#### **6.3.7 Uso da terra em 2015 - Edificações**

De 1989 a 2015, as edificações ou expansão urbana aumentaram em 13,7% na bacia do lajeado Passo dos Índios, enquanto na bacia do lajeado São José foi de

6,78%. Ressalta-se que há restrição de uso e ocupação nesta bacia nos planos diretores de Chapecó de 2004 e 2014 considerando ser bacia de captação de água para consumo.

Para verificar o comportamento hidrossedimentológico com o aumento de edificações e ocupação urbana, foi feita simulação ampliando a área de edificações ao substituir os fragmentos da mata nativa menores ou iguais a 1 hectare (Figura 52).

Na bacia do lajeado São José a área de pasto seria 13,93%, solo exposto com 12,4%, as culturas anuais seriam de 9,91%, a mata nativa de 8,33%, as edificações com 10,9%, a silvicultura com 2,34% e a massa d' água com 0,29%. Com a supressão da mata nativa em 1,5% ter-se-ia aproximadamente a 191,56 hectares a mais de edificações e ocupação urbana.

Para a bacia do lajeado Passo dos Índios a ocupação urbana ocuparia 21,78%, o pasto 5,99%, a mata nativa 5,62%, o solo exposto 4,87%, as culturas anuais 2,53%, a silvicultura 1,04% e a massa d' água 0,08%. Dessa forma, 0,63% da mata nativa foi substituída por áreas de cultivo, o que corresponde a 80,46 hectares aproximadamente. Da mesma forma que a simulação de áreas de cultivo, 2,13% da mata nativa eliminada representaria praticamente 272,02 hectares.

Verifica-se que muitos dos fragmentos de vegetação substituídos na simulação estão separados dos fragmentos maiores, ressaltando a fragilidade na proteção destas áreas de remanescentes principalmente quando estão próximas de ocupações e atividades antrópicas.

De 1989 a 1996, houve uma redução significativa da mata nativa nas duas bacias hidrográficas (Figura 53). Conforme comentado anteriormente, a bacia do lajeado São José tem restrições de uso e ocupação, considerando ser área de captação de água para consumo para a população de Chapecó, que pode ser verificada nos planos diretores da cidade de 2004 e 2014. De 1996 a 2015 houve aumento de áreas com mata nativa considerando ações que visam a proteção e recuperação da mata ciliar e de outros fragmentos com vegetação.

Um dos projetos que está contribuindo com a ampliação da mata remanescente nativa é o projeto Água Boa<sup>8</sup>, tendo como principais ações: visitas

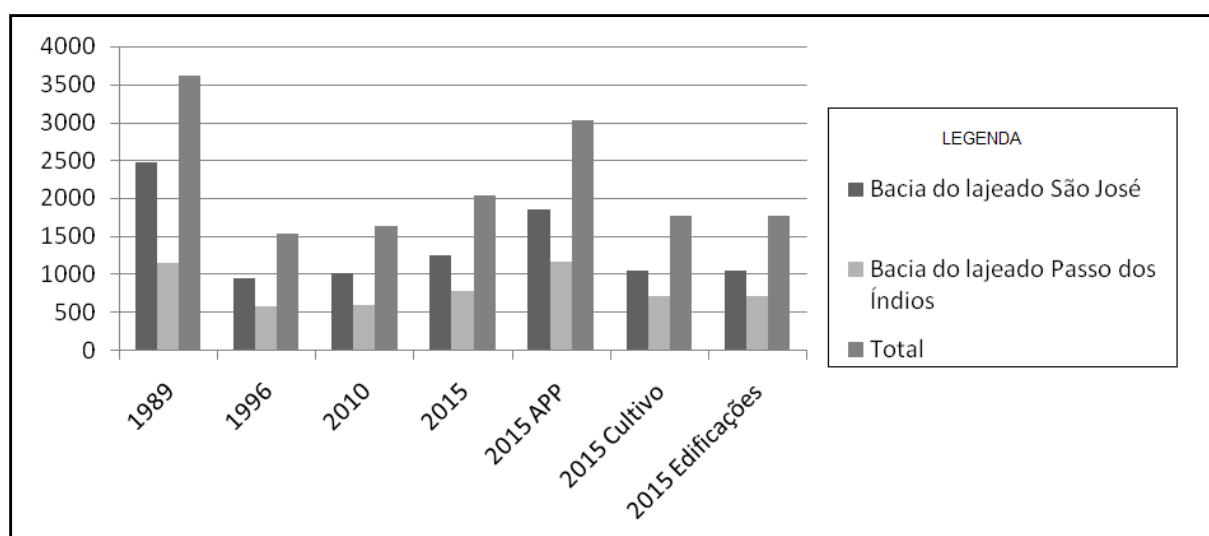
---

<sup>8</sup> Informações obtidas com Terezinha Zandavalli Lima. Projeto executado pela Prefeitura Municipal de Chapecó através da Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente. Parceiros do projeto: Consórcio Iberê/CASAN, SADIA, UHE Foz do Chapecó, Rotary Club Chapecó e Epagri.



técnicas para diagnosticar as propriedades, identificar e georreferenciar as áreas protegidas, entregar materiais como palanques e arames para proteger as Áreas de Preservação Permanente e entregar mudas nativas para a recuperação da vegetação.

Figura 53 – Evolução dos fragmentos da mata nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 1989 e 2015 em hectares



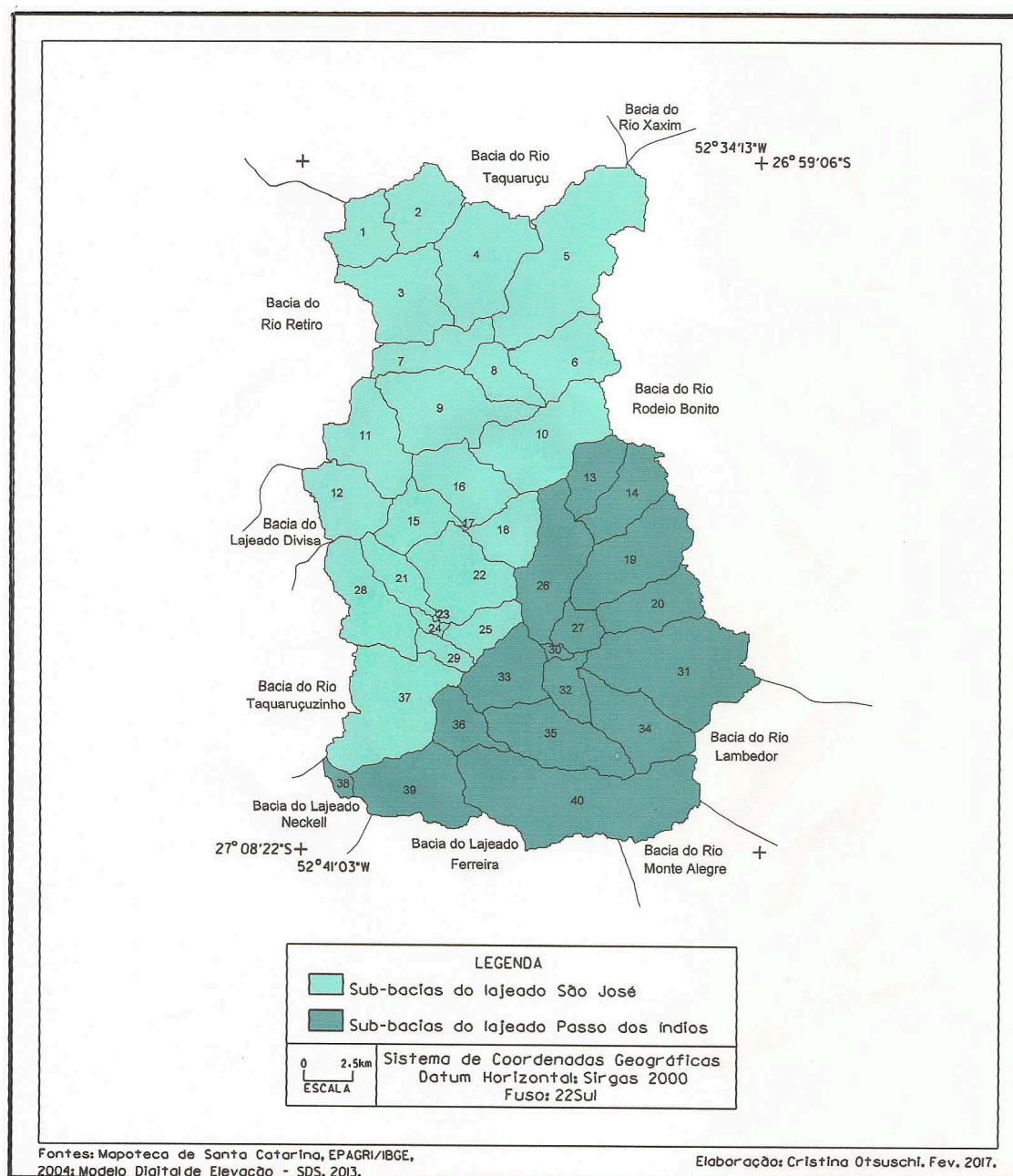
Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Uma das bacias hidrográficas contempladas por este projeto desde 2007 é a bacia do lajeado São José, com 105 propriedades sendo atendidas e com 58,47 ha de área protegida. O projeto atende também as bacias hidrográficas do Tigre e Retiro considerando a possibilidade de captação de água para consumo de Chapecó.

### 6.3.8 Evolução da cobertura florestal e as sub-bacias

A bacia do lajeado São José foi dividida em vinte e quatro sub-bacias (Figura 54) totalizando aproximadamente 7371,54 hectares. Enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios foi dividida em dezesseis sub-bacias com 5328,3 hectares aproximadamente. Dos 12699,84 hectares das duas bacias hidrográficas 58,04% correspondem à bacia do lajeado São José e 41,96% à bacia do lajeado Passo dos Índios.

Figura 54 – Localização das sub-bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios



A evolução da cobertura florestal nativa na área de estudo pode ser visualizada por sub-bacias. Para comparar as mudanças na mata nativa, foi elaborada tabela contemplando os dados de cobertura florestal nativa entre 1989 e 2015 (Tabela 7), sendo 1989 a referência para a comparação inicial.





Em 1989, a bacia do lajeado São José tinha 2.474,12 hectares de cobertura florestal nativa, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios tinha 1.148,3176 hectares. Verificou-se que em 1996 houve redução significativa da cobertura florestal nativa em quase todas as sub-bacias da bacia do lajeado São José, como

exemplos as sub-bacias 5 e 37. Somente a sub-bacia 23 teve aumento de mata nativa.

Tabela 7 – Evolução da mata nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 1989 e 2015

	Sub-bacia	Área da sub-bacia - ha	1989 ha	1996 ha	2010 ha	2015 ha
Bacia do lajeado São José	1	220,54	58,06	25,27	27,75	35,93
	2	282,81	74,69	27,42	43,91	45,33
	3	434,08	182,49	48,13	48,68	81,83
	4	523,85	221,58	95,91	103,23	127,06
	5	885,00	339,97	132,64	118,65	144,03
	6	336,21	90,52	20,52	13,89	22,76
	7	241,16	92,72	26,17	21,25	25,23
	8	167,73	58,17	32,64	42,85	45,61
	9	497,34	148,69	44,48	56,73	49,63
	10	521,92	182,07	75,96	70,62	60,25
	11	370,64	180,05	56,44	50,88	36,14
	12	291,48	96,57	29,03	35,21	42,27
	15	209,58	77,68	48,62	54,77	61,92
	16	323,02	43,02	12,30	21,56	24,21
	17	1,57	1,37	0,70	0,64	0,89
	18	217,36	11,09	3,65	3,33	3,11
	21	164,03	54,33	18,97	21,90	45,13
	22	408,85	94,51	54,83	45,99	64,26
	23	1,92	0,00	0,27	0,50	0,18
	24	32,82	7,08	3,07	6,06	7,27
	25	155,03	23,47	16,14	18,06	27,23
	28	372,37	154,09	56,15	54,16	87,96
	29	74,62	5,68	5,67	7,39	8,83
	37	637,58	276,23	123,95	160,96	203,03
Bacia do lajeado Passo dos Índios	13	197,49	55,88	20,93	17,58	12,88
	14	268,76	81,40	25,15	30,87	20,38
	19	456,97	127,58	68,26	64,69	82,87
	20	261,64	39,47	25,81	19,22	23,02
	26	427,75	29,39	21,96	19,82	23,68
	27	114,54	3,41	0,81	0,32	1,87
	30	21,08	0,27	0,09	0,09	0,35
	31	739,09	79,46	34,99	35,62	50,90
	32	141,44	1,65	0,09	0,09	0,80
	33	307,86	53,18	20,68	13,28	17,68
	34	353,02	13,18	5,85	0,27	1,46
	35	417,15	25,83	23,96	29,94	47,42
	36	179,03	86,60	37,49	53,42	73,78
	38	39,01	10,59	5,78	14,96	17,96
	39	419,67	149,30	90,25	102,66	136,37
	40	983,77	391,12	204,72	205,18	283,31

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Legenda:  Referência  Sem alteração  Redução  Ampliação

Na bacia hidrográfica do lajeado Passo dos Índios, todas as sub-bacias tiveram redução de mata nativa em 1996. A sub-bacia 40 é uma das que teve maior perda de cobertura florestal remanescente. Ressalta-se o aumento da população urbana em Chapecó entre 1980 e 1996 (Quadro 6), a expansão urbana na bacia do lajeado Passo dos Índios e, com destaque, a ampliação da área de cultivo na bacia

do lajeado São José (Figura 47). As sub-bacias desse lajeado tiveram perda de 11,92% de mata nativa, sendo substituídas principalmente por culturas anuais e pastos. A bacia do lajeado São José tinha 958,92 hectares de mata nativa, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios, tinha 586,8329 hectares em 1996.

Em 2010 somente as sub-bacias 30 e 32 não tiveram alteração com a mata nativa. Teve aumento da vegetação florestal remanescente em 15 sub-bacias na bacia do lajeado São José, totalizando 1028,96 hectares. Houve a ampliação da mata nativa em 7 sub-bacias da bacia do lajeado Passo dos Índios, somando 608,0234 hectares.

Comparando-se 2010 e 2015, somente as sub-bacias 9, 10, 11, 13, 14, 18 e 23 tiveram redução de mata nativa, sendo duas sub-bacias pertencentes à bacia do lajeado Passo dos Índios. Com o aumento da vegetação florestal nativa, a bacia do lajeado São José passou a ter 1.250,10 hectares de cobertura, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios, ampliou para 794,73 hectares.

Para melhor compreensão dos remanescentes da mata nativa nas funções ambientais, os dados de cobertura florestal de 2015 serviram como referência para ser comparados com os dados simulados (Tabela 8). A simulação de Áreas de Preservação Permanente representa proteção, manutenção e ampliação da cobertura florestal para conhecer seus benefícios para as funções ambientais de perda de solo, vazão e escoamento superficial. Portanto, não é objetivo desse trabalho, estudar as Áreas de Preservação Permanente de 1989 até 2015.

Comparando-se os dados de mata nativa de 2015 com a simulação de Áreas de Preservação Permanente (Tabela 8), somente a sub-bacia 17 manteve a mesma área de mata nativa, pertencente à bacia do lajeado São José. As sub-bacias 37 e 9, tiveram aumento de 11,4% e 9,85% de cobertura florestal, respectivamente. Enquanto, a sub-bacia 14 ampliou em 11,72% e a sub-bacia 26, em 8,92% de mata remanescente. A bacia do lajeado São José teria 1861,09 hectares de vegetação florestal nativa e a bacia do lajeado Passo dos Índios, teria 1.169,9648 hectares.

Com a substituição de fragmentos florestais iguais e/ou menores a 1 hectare por cultivo ou por construções, somente a sub-bacia 17 manteve a mesma quantidade de mata, quando comparado com os dados de 2015. As sub-bacias 30, 32 e 34 ficariam sem cobertura florestal, vale ressaltar que estas sub-bacias encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios.

Tabela 8 – Evolução da mata nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 2015 e os usos simulados

	Sub-bacia	Área ha	2015 ha	APP ha	Cultivo ha	Edificações ha
Bacia do lajeado São José	1	220,54	35,93	55,87	25,65	25,65
	2	282,81	45,33	56,64	32,12	32,12
	3	434,08	81,83	120,07	73,52	73,52
	4	523,85	127,06	164,82	110,35	110,35
	5	885,00	144,03	210,27	128,05	128,05
	6	336,21	22,76	52,18	11,91	11,91
	7	241,16	25,23	47,95	15,40	15,40
	8	167,73	45,61	57,95	42,66	42,66
	9	497,34	49,63	98,61	41,78	41,78
	10	521,92	60,25	99,39	50,40	50,40
	11	370,64	36,14	67,23	23,00	23,00
	12	291,48	42,27	66,45	30,36	30,36
	15	209,58	61,92	73,86	59,84	59,84
	16	323,02	24,21	52,09	17,11	17,11
	17	1,57	0,89	0,89	0,89	0,89
	18	217,36	3,11	20,80	0,03	0,03
	21	164,03	45,13	56,59	38,41	38,41
	22	408,85	64,26	98,37	58,66	58,66
	23	1,92	0,18	0,45	0,66	0,66
	24	32,82	7,27	11,50	6,32	6,32
	25	155,03	27,23	42,52	19,75	19,75
	28	372,37	87,96	119,63	74,30	74,30
	29	74,62	8,83	11,29	5,37	5,37
	37	637,58	203,03	275,66	191,50	191,50
Bacia do lajeado Passo dos Índios	13	197,49	12,88	32,45	5,54	5,54
	14	268,76	12,88	32,45	14,11	14,11
	19	456,97	20,38	51,87	75,27	75,27
	20	261,64	82,87	112,65	16,40	16,40
	26	427,75	23,02	36,39	20,29	20,29
	27	114,54	23,68	61,85	0,09	0,09
	30	21,08	1,87	6,98	0,00	0,00
	31	739,09	0,35	2,61	40,61	40,61
	32	141,44	50,90	111,08	0,00	0,00
	33	307,86	0,80	6,49	14,34	14,34
	34	353,02	17,68	43,37	0,00	0,00
	35	417,15	1,46	34,75	43,72	43,72
	36	179,03	47,42	65,47	71,26	71,26
	38	39,01	73,78	82,54	17,78	17,78
	39	419,67	17,96	22,94	129,12	129,12
	40	983,77	136,37	169,04	266,90	266,90

Fonte: (Modelagem SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Legenda:  Referência  Sem alteração  Redução  Ampliação

A bacia do lajeado São José passaria a ter 1.058,04 hectares de mata e a bacia do lajeado Passo dos Índios, a ter 715,4251 hectares de cobertura florestal. A bacia do lajeado São José teria 192,06 hectares a menos, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios, teria 79,30 hectares a menos de mata.

Com a retirada de pequenos fragmentos de vegetação florestal nativa, seriam 271,36 hectares a menos de mata nas duas bacias hidrográficas. Destaca-se o aumento significativo das áreas com mata com a simulação das Áreas de Preservação Permanente conforme as leis ambientais.

Para fazer uma associação entre fragmentação da mata nativa através do uso da terra com os efeitos hidrológicos e de perda de solo, foi realizada a comparação da evolução do uso da terra de 2015 por sub-bacias dos cenários simulados.

### **6.3.9 Comparação do uso da terra**

Em 1989 a bacia do lajeado São José teve destaque para as sub-bacias 3, 4, 7, 10, 11, 15, 17, 28 e 37 (Tabela 9) com predomínio da mata nativa, seguido de cultivo e solo exposto.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios o predomínio da vegetação aos demais usos da terra foi somente nas sub-bacias 36 e 40. Algumas sub-bacias predominavam cultivo ou ocupação urbana. A sub-bacia 36 caracteriza-se por ter 42,71% de sua área com declividades superiores a 25%, tendo também áreas de cultivo. A mata nativa era encontrada no mínimo em 38% nestas sub-bacias.

Em 1996, somente a sub-bacia 17 (Tabela 10) teve predomínio de mata nativa, seguido por solo exposto e pasto. Na bacia do lajeado São José a redução da vegetação nativa foi de 11,92% e do solo exposto de 3,13%, tendo aumento de 11,04% de cultivo e 5,42 de pasto.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios a redução da mata nativa foi de 4,44% e o aumento de edificações foi de 5,64% e pasto de 1,39%. As sub-bacias 8, 15, 17, 37 da bacia do lajeado São José possuíam acima de 20% de mata nativa, enquanto na bacia do lajeado Passo dos Índios foram as sub-bacias 36, 39 e 40 que se destacaram.

Em 2010 as sub-bacias 4, 8, 17, 23 e 37 (Tabela 11) da bacia do lajeado São José tiveram acima de 19% de mata nativa e na bacia do lajeado Passo dos Índios, foram as sub-bacias 36, 37, 38 e 40.

Tabela 9 – Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1989<sup>9</sup>

	Sub-bacia	Área ha	Mata Nativa %	Silvicultura %	Solo Exposto	Cultivo %	Massa d' água	Edificações %	Pasto %
Bacia do lajeado São José	1	220,54	26,337	11,779	35,732	24,159	0	0,568	1,313
	2	282,81	26,41	2,60	38,34	31,56	0	0,41	0,29
	3	434,08	42,04	23,93	8,86	22,67	0,08	0,12	2,56
	4	523,85	42,30	4,80	19,66	31,56	0,09	0,10	1,07
	5	885,00	38,41	5,85	5,78	49,26	0,01	0,13	0
	6	336,21	26,92	1,31	7,37	48,79	0	0,08	15,10
	7	241,16	38,45	36,85	10,08	14,55	0,04	0,30	0
	8	167,73	34,68	5,03	0,85	38,92	0	13,43	7,36
	9	497,34	17,31	0,68	19,98	28,23	0,13	0,20	4,54
	10	521,92	34,89	1,77	23,24	30,34	0	0,15	9,36
	11	370,64	48,58	7,18	13,16	30,97	0,07	0	0
	12	291,48	33,13	7,83	15,69	42,32	0	0	1,10
	15	209,58	37,06	8,49	7,48	33,11	0	0,30	13,84
	16	323,02	13,32	5,23	20,71	27,61	0,25	0,06	33,09
	17	1,57	87,20	0	13,07	0	0	0	0
	18	217,36	5,10	0,08	5,89	30,51	0	56,16	2,53
	21	164,03	33,12	1,42	16,24	42,07	0,06	0,06	7,31
	22	408,85	23,12	1,63	7,46	22,14	0,13	26,19	19,61
	23	1,92	0	0	0	100	0	0	0
	24	32,82	21,56	2,73	0,08	67,77	0	0	8,13
	25	155,03	15,14	4,67	13,43	47,67	0	19,36	0
	28	372,37	41,38	7,21	12,26	30,22	1,24	3,70	4,27
	29	74,62	7,60	12,78	2,97	64,93	3,49	8,49	0
	37	637,58	43,32	2,23	18,46	22,63	0,50	2,61	10,53
Bacia do lajeado Passo dos Índios	13	197,49	28,30	3,79	30,53	37,01	0	0,05	0
	14	268,76	30,29	6,50	11,24	50,95	0	0,10	0
	19	456,97	27,92	2,33	6,28	58,37	0,04	5,17	0
	20	261,64	15,09	0,44	3,90	64,41	0	15,03	1,00
	26	427,75	6,87	0,04	7,01	49,90	0	36,24	0,21
	27	114,54	2,98	0	7,60	2,46	0	87,23	0
	30	21,08	1,30	0	8,78	0	0	90,20	0
	31	739,09	10,75	0,58	8,28	54,34	0,02	16,99	8,54
	32	141,44	1,17	0	11,51	1,91	0	85,69	0
	33	307,86	17,27	1,56	3,70	29,46	0	48,27	0
	34	353,02	3,73	0,13	7,40	48,76	0	39,25	0,80
	35	417,15	6,19	0,02	12,65	59,41	0	12,42	9,58
	36	179,03	48,37	1,51	7,69	42,07	0,20	0	0,43
	38	39,01	27,14	0,23	39,42	18,40	0	0	15,07
	39	419,67	35,58	0,87	19,64	37,84	0	0,13	6,21
	40	983,77	39,76	1,05	10,71	41,23	0	2,52	4,85

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

<sup>9</sup> Constatou-se neste trabalho e em outra pesquisa, que a soma dos tipos de uso da terra por sub-bacia, nem sempre totaliza 100%, porém o SWAT faz uma compensação, pois com a soma de todas as sub-bacias por tipo de uso, chega-se a 100%. De acordo com Éverton Blainski e Vander Kaufmann, essa diferença não compromete as estimativas geradas pelo modelo. (Informação verbal: mensagem enviada por e-mail)

Houve aumento de 0,55% de mata nativa, de 6,14% de cultivo, de 1,72% de edificações e de 1,25% de silvicultura na bacia do lajeado São José. O solo exposto reduziu em 3,28% e a área de pasto em 6,35%. Na bacia do lajeado Passo dos Índios o aumento da mata nativa foi de 0,2%, de silvicultura 0,37%, de edificações 6,15%. Houve redução de 3,01% no cultivo e de 1,33% de solo exposto.

Tabela 10 – Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 1996

	Sub-bacia	Mata Nativa %	Silvicultura %	Solo Exposto%	Cultivo %	Massa d' água %	Edificações %	Pasto %
Bacia do lajeado São José	1	11,46	3,01	18,12	57,16	-	-	10,09
	2	9,70	4,24	15,56	61,21	1,24	0,02	7,65
	3	11,09	6,50	17,43	52,59	-	-	12,66
	4	18,31	4,53	11,34	52,73	0,67	1,51	10,49
	5	14,99	2,31	9,19	47,65	0,14	0,60	24,57
	6	6,10	1,56	7,95	48,19	-	0,01	35,77
	7	10,85	5,40	11,12	44,80	-	-	28,11
	8	19,46	3,05	12,53	33,98	-	19,28	11,98
	9	8,94	2,12	10,31	63,68	0,09	0,80	14,32
	10	14,55	3,52	12,99	53,90	0,17	0,71	13,89
	11	15,23	5,09	6,44	61,12	-	-	12,09
	12	9,96	3,03	13,58	61,96	-	0,19	11,35
	15	23,20	2,64	4,47	49,65	-	0,22	20,10
	16	3,81	0,72	5,63	61,83	0,36	4,31	23,62
	17	44,80	-	30,13	-	-	-	25,35
	18	1,68	0,39	3,48	23,75	-	64,51	6,46
	21	11,56	2,24	8,00	67,25	-	0,06	11,16
	22	13,41	1,25	1,89	40,37	-	23,90	19,45
	23	14,01	4,71	12,44	68,33	-	-	0,79
	24	9,36	5,54	3,48	64,02	-	0,83	17,04
Bacia do lajeado Passo dos Índios	25	10,41	2,11	8,73	45,93	0,06	23,72	9,32
	28	15,08	7,00	4,68	59,83	1,80	3,61	8,27
	29	7,59	3,10	2,15	27,82	5,04	47,46	7,12
	37	19,44	4,46	6,12	48,22	0,41	9,58	12,04
	13	10,60	4,42	16,50	63,25	0,14	-	4,75
	14	9,36	4,03	10,98	65,07	-	4,79	4,86
	19	14,94	2,25	3,82	47,80	0,04	23,48	7,78
	20	9,86	1,74	2,20	53,93	0,38	21,82	9,93
	26	5,13	0,34	4,99	33,16	-	53,50	3,15
	27	0,71	1,98	4,61	-	-	92,90	0,08
	30	0,43	0,81	-	9,52	-	89,51	-
	31	4,73	0,83	6,40	45,08	0,17	34,24	8,06
	32	0,06	-	-	4,64	-	95,02	0,55
	33	6,72	7,08	0,53	19,77	-	63,26	2,93
	34	1,66	0,56	0,95	38,97	-	54,20	3,71
	35	5,74	2,73	1,67	27,17	-	58,11	4,85
	36	20,94	3,65	6,85	58,12	-	3,30	7,41
	38	14,82	0,69	1,92	49,78	-	0,23	32,82
	39	21,50	1,61	8,63	56,27	-	0,62	11,65
	40	20,81	3,22	4,83	50,60	0,01	10,92	9,74

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

A mata nativa em 2015 (Tabela 12) predominou nas sub-bacias 4, 8, 15, 17 e 37 da bacia do lajeado São José. Enquanto na bacia do lajeado Passo dos Índios houve o predomínio nas sub-bacias 36, 38 e 40 principalmente nas declividades



superiores a 25%. Na sub-bacia 17 foi identificado 87,20% de mata nativa e solo exposto.

Tabela 11 - Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2010

	Sub-bacia	Mata Nativa	Silvicultura %	Solo Exposto%	Cultivo %	Massa d' água%	Edificações %	Pasto %
Bacia do Lajeado São José	1	12,58	6,04	11,26	67,10	0,08	1,10	1,66
	2	15,53	13,47	3,67	62,19	1,21	3,09	0,45
	3	11,21	3,59	4,64	79,94	0,27	0,05	0,56
	4	19,71	12,85	3,36	59,56	0,17	2,48	1,45
	5	13,41	4,68	2,92	65,09	0,60	1,23	11,51
	6	4,13	3,45	5,22	61,04	1,05	0,09	24,60
	7	8,81	16,15	3,57	71,33	0,11	-	0,30
	8	25,55	5,98	5,19	44,35	-	18,67	0,54
	9	11,41	5,24	5,07	77,80	0,04	0,46	0,26
	10	13,53	9,75	2,89	66,12	0,24	1,90	5,31
	11	13,73	9,50	1,35	73,37	0,17	-	1,85
	12	12,08	5,80	3,51	77,93	-	0,03	0,73
	15	26,13	1,14	2,13	60,74	-	-	10,12
	16	6,67	1,69	2,70	76,64	-	4,65	7,92
	17	40,81	5,58	-	53,88	-	-	-
	18	1,53	0,12	2,55	15,29	-	80,74	0,04
	21	13,35	0,39	0,36	75,73	-	0,26	10,18
	22	11,25	1,74	7,37	43,90	-	33,14	2,88
	23	26,05	-	-	58,12	-	16,10	-
	24	18,47	1,37	-	76,20	-	3,23	1,00
Bacia do Lajeado Passo dos Índios	25	11,65	0,60	0,52	58,94	0,35	25,21	3,00
	28	14,55	0,57	4,46	63,23	1,79	12,97	2,71
	29	9,91	3,22	-	23,72	3,99	58,80	0,62
	37	25,25	3,12	1,75	44,93	0,51	20,63	4,08
	13	8,90	4,80	3,83	81,99	0,09	-	0,05
	14	11,49	3,64	3,48	60,52	0,30	19,49	0,17
	19	14,16	6,25	2,17	37,82	0,08	39,20	0,44
	20	7,35	1,16	0,04	41,00	0,17	49,39	0,76
	26	4,63	0,86	2,39	17,19	-	75,00	0,20
	27	0,28	2,08	-	2,20	-	95,71	-
	30	0,44	-	-	6,49	-	93,34	-
	31	4,82	1,32	5,51	32,25	0,11	55,32	0,20
	32	0,06	-	-	1,00	-	99,21	-
	33	4,31	10,71	-	13,32	-	71,41	-
	34	0,08	3,25	-	7,37	0,03	89,23	0,12
	35	7,18	2,46	0,23	15,70	-	73,82	0,89
	36	29,84	6,00	0,20	55,10	-	3,56	5,58
	38	38,36	-	-	56,15	-	-	5,77
	39	24,46	3,54	0,10	66,94	0,90	0,27	4,07
	40	20,86	3,37	1,74	48,78	0,01	24,10	1,27

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Tabela 12 - Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015

	Sub-bacia	Mata nativa%	Silvicultura %	Solo Exposto%	Cultivo %	Massa d' água%	Edificações %	Pasto %
Bacia do Lajeado São José	1	16,29	5,44	33,18	19,33	0	4,73	20,85
	2	16,03	10,86	29,62	12,45	1,63	14,41	14,61
	3	18,85	0,99	32,33	19,35	0,21	2,61	25,93
	4	24,26	7,96	23,43	10,81	0,31	16,71	16,11
	5	16,27	3,33	15,83	27,84	0,40	7,78	27,99
	6	6,77	5,14	16,96	20,25	1,45	1,91	47,08
	7	10,46	9,80	19,05	38,02	0	2,36	20,57
	8	27,20	5,76	8,83	10,69	0	34,36	13,44
	9	9,98	2,71	39,58	22,38	0	4,55	21,07
	10	11,54	6,87	23,08	19,12	0	16,10	22,87
	11	9,75	6,80	20,31	33,59	0	7,17	22,35
	12	14,50	4,72	28,87	22,52	0	5,46	24,00
	15	29,54	0,93	22,57	17,63	0	2,66	26,94
	16	7,50	2,56	20,59	16,96	0	19,05	33,63
	17	56,75	0	0	0	0	0	43,52
	18	1,43	0,94	3,64	1,19	0	86,56	6,50
	21	27,51	1,10	18,39	9,64	0	2,68	40,94
	22	15,72	1,43	23,23	3,18	0	35,34	21,38
	23	9,43	0	34,43	0	0	38,09	18,33
	24	22,14	0	22,21	2,20	0	11,42	42,30
	25	17,57	0,29	13,06	6,98	0,06	34,33	27,99
	28	23,62	2,45	16,82	11,20	1,87	19,92	24,40
	29	11,84	0,60	16,57	5,76	7,48	41,01	17,01
	37	31,84	1,31	10,83	5,04	1,24	29,30	20,72
Bacia do Lajeado Passo dos Índios	13	6,52	3,59	36,33	26,96	0,64	10,34	15,29
	14	7,58	2,43	28,71	24,14	0	20,28	15,95
	19	18,13	5,81	17,62	4,51	0	40,62	13,41
	20	8,80	0,62	16,14	7,34	0	53,66	13,30
	26	5,54	1,04	10,62	4,86	0	73,39	4,82
	27	1,63	0,67	0,56	0,37	0	96,05	0,99
	30	1,68	0	0,44	0,06	0	97,10	1,00
	31	6,89	0,74	3,68	6,23	0,26	64,45	17,26
	32	0,56	0	0	0,17	0	98,63	0,91
	33	5,74	9,82	4,78	1,58	0	72,78	5,57
	34	0,41	3,61	0,63	1,08	0	88,85	5,49
	35	11,37	1,39	3,73	1,35	0	75,04	7,40
	36	41,21	3,19	15,99	3,65	0,20	15,42	20,61
	38	46,03	0,46	9,90	6,01	0	5,08	32,78
	39	32,50	3,61	17,69	7,65	1,55	4,07	33,21
	40	28,80	0,92	13,65	4,41	0,06	33,37	18,91

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Com a simulação de Áreas de Preservação Permanente (Tabela 13) na bacia do lajeado São José predominaria mata nativa nas sub-bacias 4, 8, 9, 15, 17, 24, 28 e 37. Estas sub-bacias encontram-se principalmente nas proximidades do lajeado Tormen (Figura 24) no Noroeste da bacia do lajeado São José e nas proximidades da confluência em que as declividades ficam acima de 15% no meio rural.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios destacariam as sub-bacias 36, 38, 39 e 40, nas proximidades da confluência entre os lajeados São José e Passo dos Índios. Ao comparar a mata nativa entre 2015 e a simulação de Áreas de Preservação Permanente constatou-se que quase todas as sub-bacias tanto da bacia do lajeado São José quanto a do Passo dos Índios tiveram aumento porcentual da vegetação, e as sub-bacias 9 e 24 passaram a predominar com este tipo de uso.

Tabela 13 – Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando Áreas de Preservação Permanente

	Sub-bacia	Mata nativa%	Silvicultura %	Solo Exposto%	Cultivo %	Massa d' água%	Edificações %	Pasto %
Bacia do Lajeado São José	1	25,33	5,34	28,81	18,07	0	4,06	18,22
	2	20,03	10,35	28,60	11,38	1,63	14,30	13,31
	3	27,66	0,85	28,24	17,80	0,21	2,16	23,35
	4	31,46	7,27	21,13	10,18	0,17	15,51	13,85
	5	23,76	3,19	14,16	25,84	0,36	6,97	25,16
	6	15,52	3,94	14,90	19,53	1,40	1,52	42,76
	7	19,88	8,59	16,84	35,21	0	2,04	17,72
	8	34,55	3,59	8,16	10,05	0	31,26	12,66
	9	19,83	2,54	35,67	19,63	0	4,07	18,54
	10	19,04	6,17	21,31	17,80	0,15	14,48	20,78
	11	18,14	6,73	18,74	29,65	0	6,54	20,18
	12	22,80	4,69	26,81	20,90	0	4,31	20,55
	15	35,24	0,93	20,86	15,91	0	2,36	24,97
	16	16,13	2,56	17,22	15,69	0	18,96	29,72
	17	56,75	0	0	0	0	0	43,52
	18	9,57	0,94	3,41	1,17	0	78,96	6,22
	21	34,50	1,02	16,78	9,21	0	1,64	37,11
	22	24,06	1,28	21,44	2,96	0	32,51	18,04
	23	23,30	0	32,60	0	0	26,05	18,33
	24	35,04	0	19,69	1,65	0	9,01	34,88
	25	27,43	0,29	10,84	6,26	0,06	31,24	24,15
	28	32,13	2,10	15,23	9,81	1,23	18,13	21,66
	29	15,12	0,60	15,78	5,51	5,99	40,73	16,54
	37	43,24	1,08	8,86	4,19	1,03	25,16	16,72
Bacia do Lajeado Passo dos Índios	13	16,43	2,80	32,44	25,15	0,33	8,88	13,64
	14	19,30	2,43	23,90	20,64	0	19,28	13,52
	19	24,65	4,65	16,94	4,03	0	37,94	11,90
	20	13,91	0,56	15,16	6,57	0	51,03	12,64
	26	14,46	1,01	9,38	4,09	0	67,10	4,24
	27	6,09	0,35	0,56	0,29	0	92,01	0,98
	30	12,38	0	0,44	0	0	86,46	1,00
	31	15,03	0,74	3,36	5,95	0,21	59,13	15,11
	32	4,59	0	0	0,03	0	94,74	0,91
	33	14,09	8,94	3,88	1,50	0	66,73	5,14
	34	9,84	3,36	0,59	1,07	0	79,82	5,39
	35	15,69	1,36	3,63	1,28	0	71,19	7,11
	36	46,10	2,73	14,28	3,50	0,20	15,16	18,31
	38	58,80	0,30	5,65	3,66	0	1,88	29,99
	39	40,28	2,87	15,47	7,17	1,49	3,05	29,94
	40	33,49	0,92	12,72	4,07	0,05	31,81	17,05

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Com a simulação de uso da terra substituindo fragmentos de mata nativa por culturas anuais (Tabela 14), na bacia do lajeado São José teria redução de sub-bacias com predomínio de cobertura florestal nativa, sendo as que teriam mais vegetação seriam as sub-bacias 15, 17, 21 e 37 em que a última teria áreas mais íngremes acima de 15% de declividades.

Tabela 14 – Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando ampliação de áreas de cultivo

	Sub-bacia	Mata nativa%	Silvicultura %	Solo Exposto%	Cultivo %	Massa d' água%	Edificações %	Pasto %
Bacia do lajeado São José	1	11,63	5,44	33,18	23,99	0	4,73	20,85
	2	11,36	10,86	29,62	17,12	1,63	14,41	14,61
	3	16,94	0,99	32,33	21,27	0,21	2,61	25,93
	4	21,06	7,96	23,43	14,00	0,31	16,71	16,11
	5	14,47	3,33	15,83	29,65	0,40	7,78	27,99
	6	3,54	5,14	16,96	23,48	1,45	1,91	47,08
	7	6,38	9,80	19,05	42,10	0	2,36	20,57
	8	25,43	5,76	8,83	12,45	0	34,36	13,44
	9	8,40	2,71	39,58	23,96	0	4,55	21,07
	10	9,66	6,87	23,08	21,01	0,16	16,10	22,87
	11	6,20	6,80	20,31	37,14	0	7,17	22,35
	12	10,42	4,72	28,87	26,61	0	5,46	24,00
	15	28,55	0,93	22,57	18,62	0	2,66	26,94
	16	5,30	2,56	20,59	19,15	0	19,05	33,63
	17	56,75	0	0	0	0	0	43,52
	18	0,01	0,94	3,64	2,61	0	86,56	6,50
	21	23,42	1,10	18,39	13,74	0	2,68	40,94
	22	14,35	1,43	23,23	4,55	0	35,34	21,38
	23	0	0	34,43	9,43	0	38,09	18,33
	24	19,25	0	22,21	5,09	0	11,42	42,30
Bacia do lajeado Passo dos Índios	25	12,74	0,29	13,06	11,80	0,06	34,33	27,99
	28	19,95	2,45	16,82	14,86	1,87	19,92	24,40
	29	7,20	0,60	16,57	10,40	7,48	41,01	17,01
	37	30,04	1,31	10,83	6,85	1,24	29,30	20,72
	13	2,80	3,59	36,33	30,68	0,64	10,34	15,29
	14	5,25	2,43	28,71	26,47	0	20,28	15,95
	19	16,47	5,81	17,62	6,17	0	40,62	13,41
	20	6,27	0,62	16,14	9,87	0	0,20	13,30
	26	4,74	1,04	10,62	5,65	0	73,39	4,82
	27	0,08	0,67	0,56	1,92	0	96,05	0,99
	30	0	0	0,44	1,74	0	97,10	0,44
	31	5,49	0,74	3,68	7,62	0,26	64,45	17,26
	32	0,74	0	0	0	0	98,63	0,91
	33	4,66	9,82	4,78	2,67	0	72,78	5,57
	34	3,61	0	0,63	1,50	0	88,85	0,15
	35	10,48	1,39	3,73	2,23	0	75,04	7,40
	36	39,80	3,19	15,99	5,05	0,20	15,42	20,61
	38	45,57	0,46	9,90	6,48	0	5,08	32,78
	39	30,77	3,61	17,69	9,37	1,55	4,07	33,21
	40	27,13	0,92	13,65	6,08	0,06	33,37	18,91

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios continuaria predominando mata nativa nas sub-bacias 36 e 38, com declividades acima de 25%. Ao comparar o uso da terra de 2015 com a simulação de cultivos constatou-se a redução das sub-bacias 4, 8 e 40 que predominavam com mata nativa.

Os comentários sobre a simulação aumentando áreas de cultivo se aplicam para o cenário ambiental simulando áreas construídas ao suprimir pequenos fragmentos de mata nativa (Tabela 15).

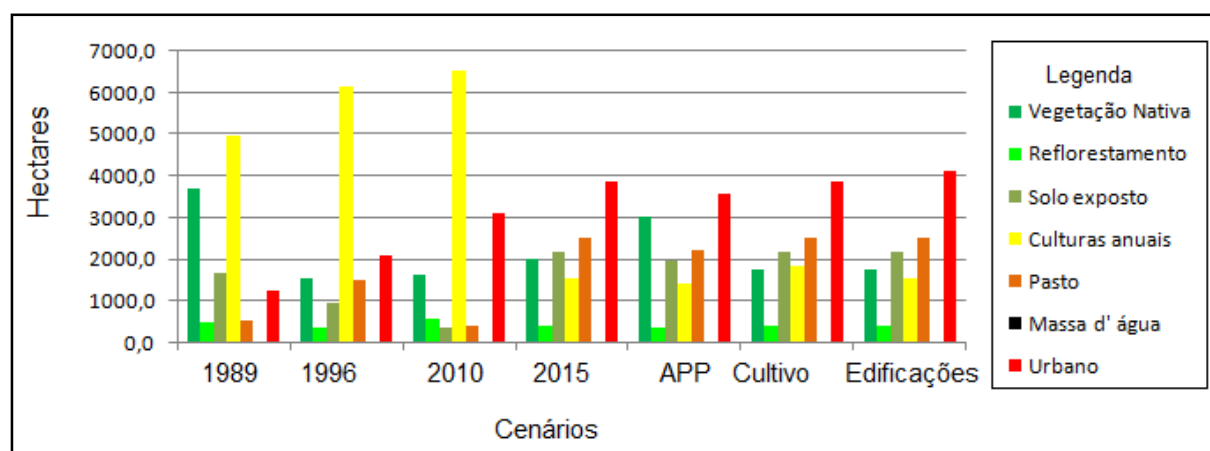
Tabela 15 – Uso da Terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios em 2015 simulando ampliação de edificações e expansão urbana

	Sub-bacia	Mata nativa%	Silvicultura %	Solo Exposto%	Cultivo %	Massa d' água%	Edificações %	Pasto %
Bacia do lajeado São José	1	11,63	5,44	33,18	19,33	0	9,39	20,85
	2	11,36	10,86	29,62	12,45	1,63	19,08	14,61
	3	16,94	0,99	32,33	19,35	0,21	4,52	25,93
	4	21,06	7,96	23,43	10,81	0,31	19,90	16,11
	5	14,47	3,33	15,83	27,84	0,40	9,59	27,99
	6	3,54	5,14	16,96	20,25	1,45	5,14	47,08
	7	6,38	9,80	19,05	38,02	0	6,44	20,57
	8	25,43	5,76	8,83	10,69	0	36,12	13,44
	9	8,40	2,71	39,58	22,38	0	6,13	21,07
	10	9,66	6,87	23,08	19,12	0,16	17,99	22,87
	11	6,20	6,80	20,31	33,59	0	10,71	22,35
	12	10,42	4,72	28,87	22,52	0	9,54	24,00
	15	28,55	0,93	22,57	17,63	0	3,65	26,94
	16	5,30	2,56	20,59	16,96	0	21,24	33,63
	17	56,75	0	0	0	0	0	43,52
	18	0,01	0,94	3,64	1,19	0	87,98	6,50
	21	23,42	1,10	18,39	9,64	0	6,78	40,94
	22	14,35	1,43	23,23	3,18	0	36,71	21,38
	23	0	0	34,43	0	0	47,52	18,33
	24	19,25	0	22,21	2,20	0	14,31	42,30
Bacia do lajeado Passo dos Índios	25	12,74	0,29	13,06	6,98	0,06	39,16	27,99
	28	19,95	2,45	16,82	11,20	1,87	23,59	24,40
	29	7,20	0,60	16,57	5,76	7,48	45,65	17,01
	37	30,04	1,31	10,83	5,04	1,24	31,11	20,72
	13	2,80	3,59	36,33	26,96	0,64	14,05	15,29
	14	5,25	2,43	28,71	24,14	0	22,61	15,95
	19	16,47	5,81	17,62	4,51	0	42,28	13,41
	20	6,27	0,62	16,14	7,34	0	56,19	13,30
	26	4,74	1,04	10,62	4,86	0	74,18	4,82
	27	0,08	0,67	0,56	0,37	0	97,61	0,99
	30	0	0	0,44	0,06	0	98,78	1,00
	31	5,49	0,74	3,68	6,23	0,26	65,84	17,26
Passo dos Índios	32	0	0	0,17	0	0	99,19	0,91
	33	4,66	9,82	4,78	1,58	0	73,87	5,57
	34	0	3,61	0,63	1,08	0	89,27	5,49
	35	10,48	1,39	3,73	1,35	0	75,92	7,40
	36	39,80	3,19	15,99	3,65	0,20	16,83	20,61
	38	45,57	0,46	9,90	6,01	0	5,55	32,78
	39	30,77	3,59	17,69	7,65	1,55	5,82	33,21
	40	27,13	0,92	13,65	4,41	0,06	35,04	18,91

Fonte: (Modelagem no SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Como são os mesmos fragmentos substituídos não há alteração nos valores, somente no tipo de uso da terra. Comparando a distribuição da mata nativa verificou-se que em 1989 o tamanho das áreas desse tipo de uso da terra eram maiores e correspondia a 28,52% ou 3622,44 hectares das duas bacias hidrográficas estudadas (Figura 55).

Figura 55 – Distribuição do uso da terra nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios entre 1989 e 2015



Fonte: (Modelagem SWAT). Elaboração: Cristina Otsuschi, 2017.

Houve desmatamento da vegetação chegando em 1996 a ter 12,2% da área, isto é, 1545,76 hectares cedendo espaço para culturas anuais que ampliou em 9,1% de sua área, seguidos de pastagem com 7,7% e expansão urbana/edificações com 6,9%.

De 1996 a 2010 houve aumento da mata nativa em 0,7%, a silvicultura subiu 1,6% e principalmente a expansão urbana que foi de 7,8%. O solo exposto reduziu desde 1989 até 2010 como resposta a algumas intervenções dos projetos Microbacias desenvolvido a partir da década de 1990 e Água Boa desde 2007.

Verifica-se que em 2015 houve aumento aproximado de 3,2% de mata nativa, ou seja, foram ampliados 406,93 ha. Outros aumentos significativos de 16,7% referem-se às áreas de pasto e de 14,4% para solo exposto. Considera-se a época da imagem de satélite não ser de setembro como nos demais mapas de tipos de uso da terra e que pode ser um período de transição, ou seja, seria um período de preparação para o cultivo de inverno. A simulação de Áreas de Preservação

Permanente ampliou em 7,77% de mata nativa, em 2015 tinha 2.044,83 hectares e com a simulação foi para 3.031,05 hectares.

O processo de fragmentação da mata nativa sinaliza algumas áreas com vegetação isoladas pela expansão urbana ou por outros tipos de uso. Dependendo das atividades antrópicas estes fragmentos de remanescentes podem ficar descaracterizados e suprimidos, podendo gerar problemas ambientais. Por menor que seja a área com mata nativa há significativa contribuição nas funções ambientais, como pode ser verificado no próximo capítulo.





## 7 – FUNÇÕES AMBIENTAIS E OS CENÁRIOS

Esse capítulo trata da relação entre a cobertura florestal nativa e as funções ambientais contemplando a relação entre os usos da terra, as sub-bacias mais vulneráveis entre os cenários reais e virtuais, a comparação entre as bacias hidrográficas dos lajeados São José e Passo dos Índios, e o uso de cenários ambientais para estudar a mata nativa e as funções ambientais.

Para associar as consequências das alterações na mata nativa em relação ao escoamento superficial, vazão e perda de solo, foram consideradas a evolução do uso da terra (Figuras 46, 47, 48, 49, 50, 51 e 52 e Tabelas 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15), os tipos de solo e as declividades (Figuras 20 e 22).

### 7.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A distribuição espacial do escoamento superficial estimado para as sub-bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios, foi representada em cenários ambientais reais e virtuais.

#### 7.1.1 Cenários reais

O escoamento superficial variou de 12,5 a 992,9mm no cenário 1989 (Figura 56), de 14,8 a 926,7mm no cenário 1996 (Figura 57), de 12,6 a 961,9mm no cenário 2010 (Figura 58) e de 27,9 a 958,3mm no cenário 2015 (Figura 59).

No **cenário 1989** (Figura 56), a sub-bacia 38 teve o menor escoamento superficial com 12,5mm. Nessa sub-bacia a mata nativa era de 27,14% e não tinha edificações.

Além da sub-bacia 38, as sub-bacias 36 e 39 tiveram o menor volume médio de escoamento superficial. Essas sub-bacias destacam-se pela presença de mata nativa, atividades como cultivo e solo exposto. Essas sub-bacias encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios.

As sub-bacias 30, 32 e 27 destacaram-se pela produção de escoamento superficial, sendo a sub-bacia 27 a que teve a maior estimativa com 992,9mm. Essa sub-bacia tinha 2,98% de sua área com vegetação florestal nativa e 87,23% com edificações.

As sub-bacias mencionadas encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios, na área urbana, em que foram registradas ocorrências de inundações e alagamentos, inclusive entre 1980 e 1990 (BINDA, BUFFON, FRITZEN, 2012). Alguns trechos dos afluentes do lajeado Passo dos Índios estão canalizados nessas sub-bacias (Figura 42).

A bacia do lajeado Passo dos Índios possui as sub-bacias com maiores taxas de escoamento superficial. Constatou-se que as sub-bacias com mata nativa e tendo o predomínio de cultivo, apresentaram escoamento superficial entre 225,8 e 373,1mm, como as sub-bacias 19, 20 e 31. As sub-bacias com maior porcentagem de edificações são as que possuem maior escoamento superficial.

As sub-bacias 8, 22, 23, 25 e 29, possuem maiores taxas de escoamento superficial na bacia do lajeado São José. O destaque foi a sub-bacia 29 com 563,1mm, apresentando quase 65% cultivo, seguido de silvicultura, edificações e mata nativa.

No **cenário 1996** (Figura 57), as sub-bacias 27, 30 e 32 continuam a se destacar com escoamento superficial entre 874,4 e 926,7mm, tendo a sub-bacia 27 o maior escoamento superficial entre todas as sub-bacias, com mais de 92% de área urbana e 0,71% de mata nativa. As sub-bacias com maiores índices de escoamento superficial continuam na bacia do lajeado Passo dos Índios, com área urbana predominando.

A sub-bacia 18 com 682,7mm destaca-se pelo maior escoamento superficial na bacia do lajeado São José. Essa sub-bacia teve aumento em edificações, pastos e na silvicultura.

A sub-bacia 38 continua com o menor escoamento superficial com 14,8mm, tendo aumento de 2,3mm em relação ao cenário 1989. O tipo de uso predominante era o cultivo, seguido de mata nativa com 14,82%. Houve redução de 12,32% na mata nativa.

Verificou-se que o escoamento superficial aumentou em relação ao cenário 1989, em que a mata nativa foi substituída, principalmente, por cultivo, pastos e em algumas sub-bacias, por edificações.

Figura 56 – Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1989

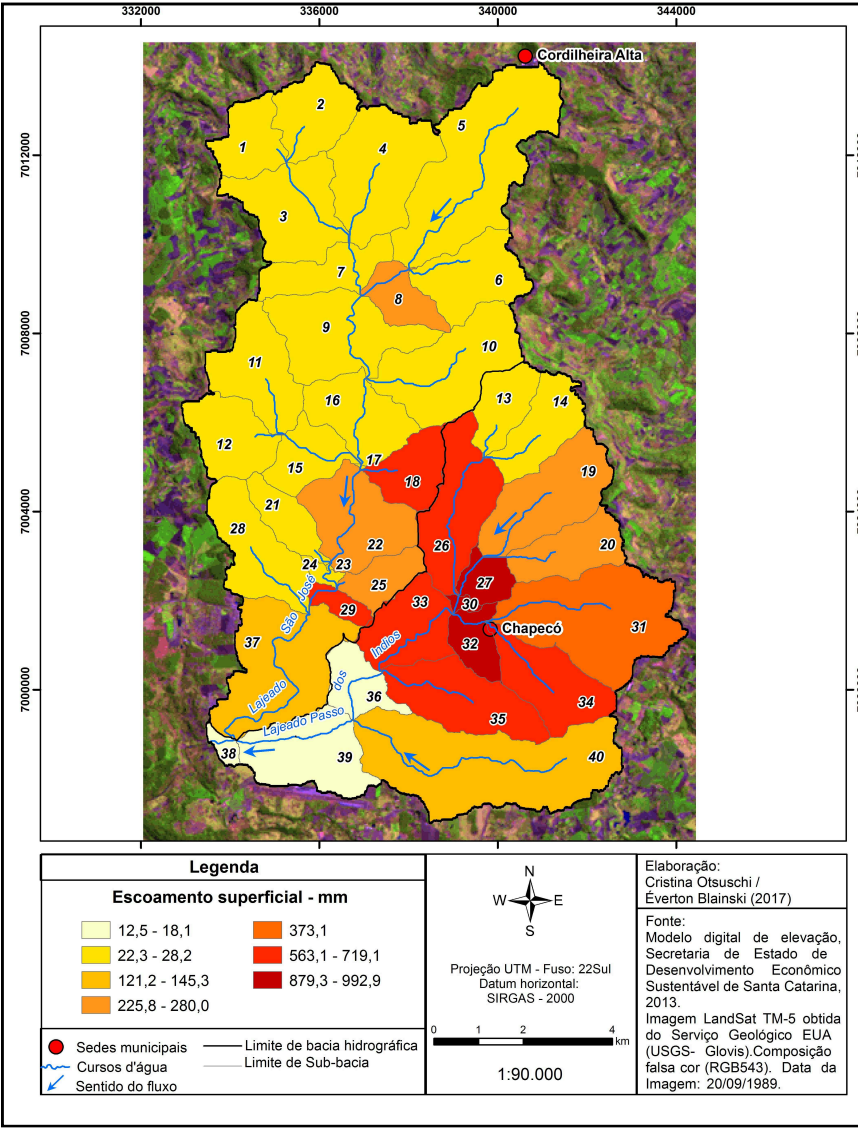


Figura 57 – Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1996

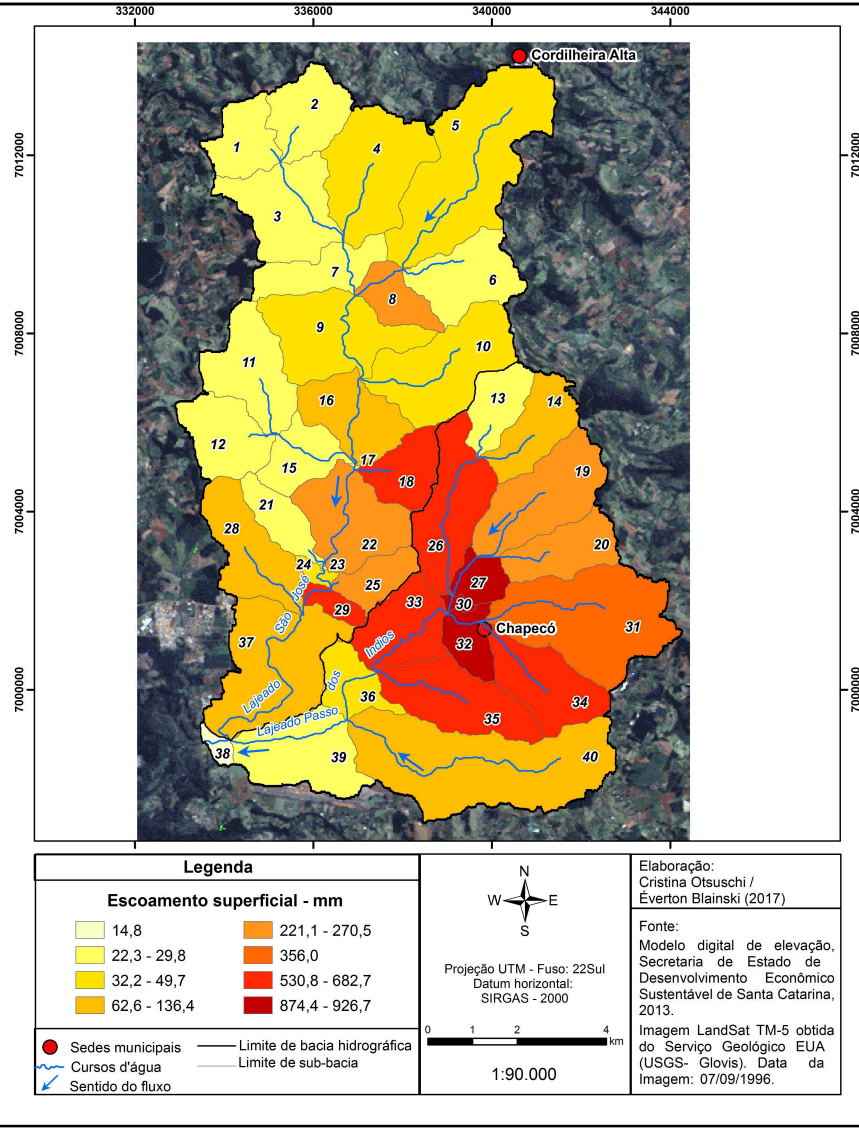


Figura 58 – Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2010

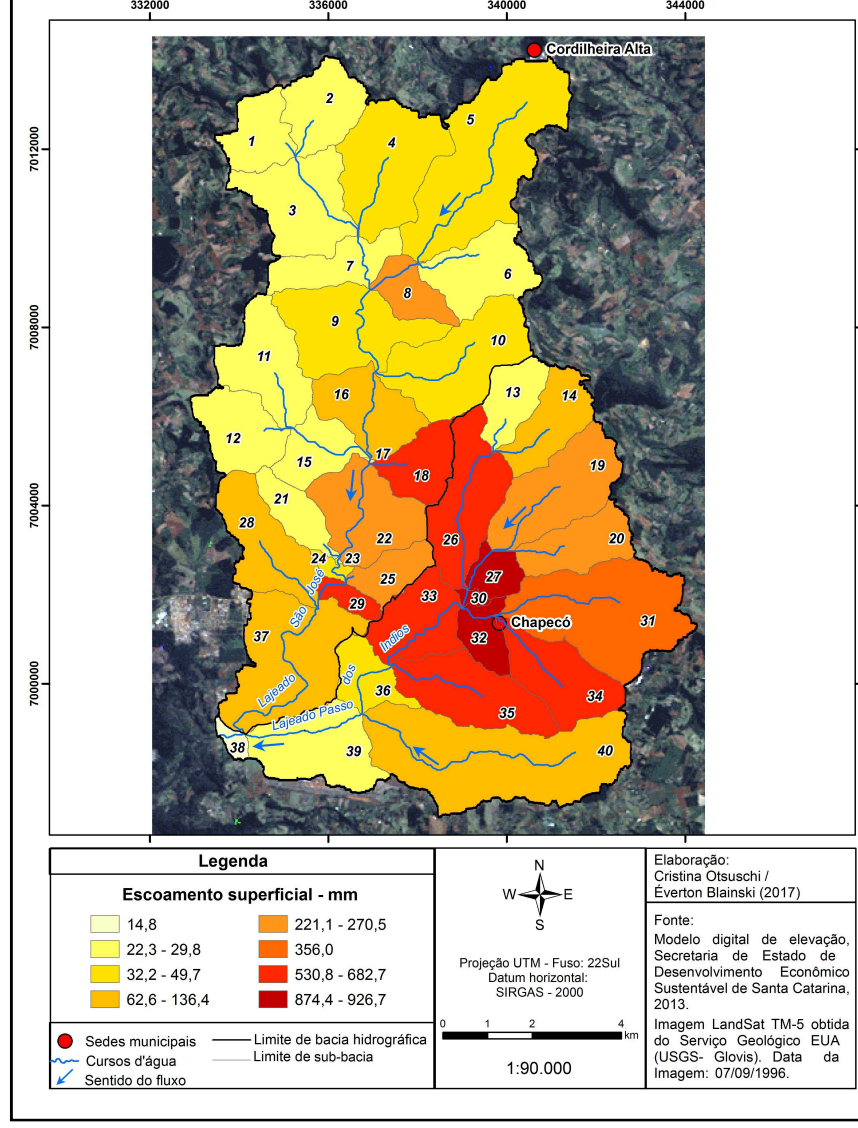
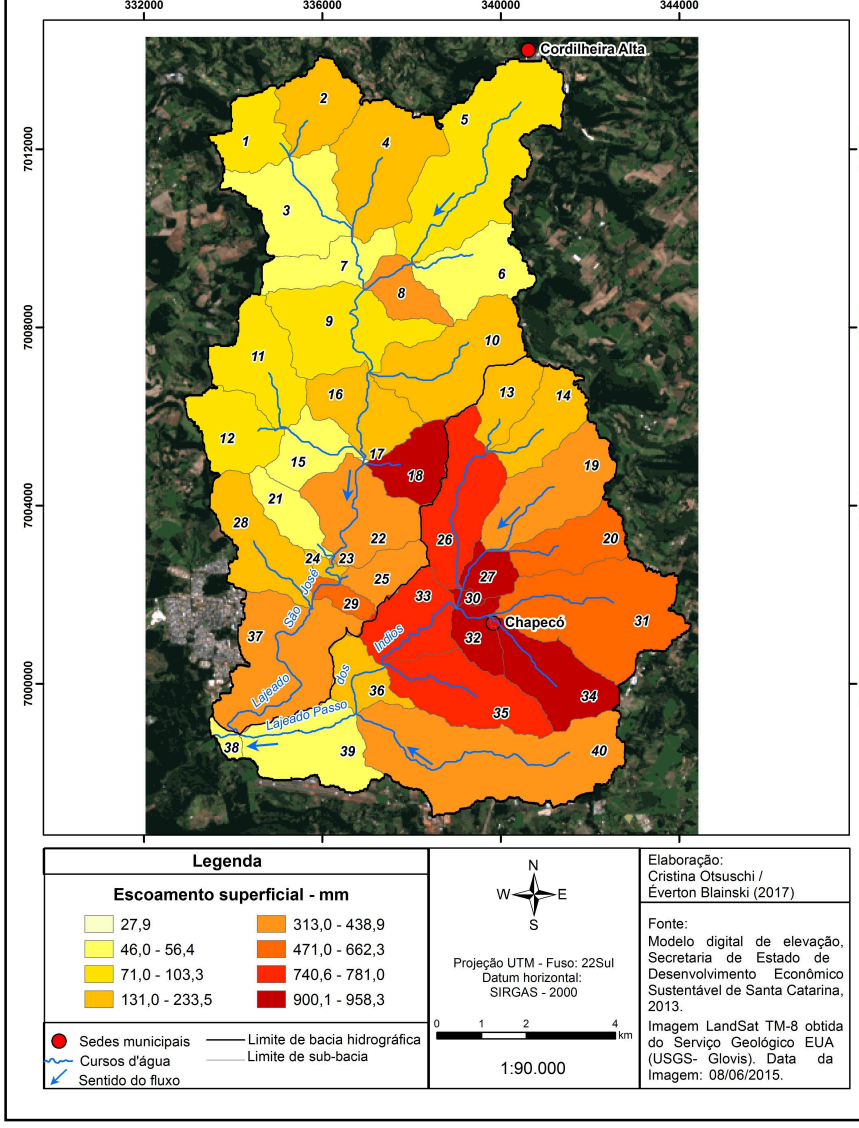


Figura 59 – Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015





Em relação à bacia do lajeado São José, o menor escoamento superficial foi na sub-bacia 11, com 22,3mm. Essa sub-bacia possuía a segunda maior área de mata nativa entre as sub-bacias do lajeado São José, sem edificações e pastos.

No **cenário 2010** (Figura 58), a sub-bacia 38 teve novamente o menor escoamento superficial com 12,6mm. Houve redução de 2,2mm no escoamento superficial, aumento de 23,54% de cobertura florestal nativa e na área de cultivo em 6,37%, porém redução de pasto em 27,05%.

Na bacia do lajeado São José, o menor escoamento foi identificado na sub-bacia 11 com 22,40mm, prevalecendo o cultivo em 73,37% de sua área, com 13,73% de mata nativa, 9,50% de silvicultura e sem edificações.

A sub-bacia 32 teve o maior escoamento superficial com 961,9mm, sendo que as sub-bacias 18, 34, 30 e 27 também se destacaram com escoamento superficial acima de 846,5mm. Destas sub-bacias, somente a 18 pertence à bacia do lajeado São José e a que teve menor escoamento superficial entre as sub-bacias mencionadas. A vegetação nativa variou nestas sub-bacias, entre 0,06% (sub-bacia 32) e 1,53% (sub-bacia 18). A sub-bacia 32 tinha a maior área com edificações, em 99,21% e a sub-bacia 18, com a menor área com esse tipo de uso da terra, com 80,74%.

No **cenário 2015** (Figura 59), o menor escoamento superficial estimado foi na sub-bacia 17 com 27,9mm. Esta sub-bacia tinha 56,75% de mata nativa, sendo a maior área com este tipo de uso da terra entre as demais sub-bacias, seguido de pasto com 43,53% e sem edificações. Esta sub-bacia pertence à bacia do lajeado São José. Na bacia do lajeado Passo dos Índios, o menor escoamento superficial foi de 56,2mm na sub-bacia 38, com a segunda maior área de mata nativa entre as sub-bacias, com 46,03%. O pasto ocupava 32,78% de cobertura e as edificações em 5,08%.

As sub-bacias 34, 18, 30, 32 e 27 tiveram entre 900,1 e 958,3mm de escoamento superficial. A menor ocupação urbana com 86,56%, foi na sub-bacia 18 e maior, com 98,63% foi na sub-bacia 32 correspondendo à área central da cidade de Chapecó. Essas sub-bacias apresentaram as menores áreas com mata nativa, variando entre 0,41% e 1,68% de cobertura, e maior escoamento superficial.

Verifica-se a ocorrência de inundações e alagamentos na bacia do lajeado Passo dos Índios (BINDA, 2015), em algumas sub-bacias com mais de 740mm de escoamento superficial, tendo mais de 70% de edificações nas sub-bacias.

As sub-bacias com maior escoamento superficial encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios, entre 600 e 780m de altitude, principalmente na área urbana de Chapecó, tendo também, o Latossolo Bruno e o Nitossolo Vermelho. As declividades predominantes variam entre 0 e 25%.

Enquanto as sub-bacias com menor escoamento superficial foram identificadas na bacia do lajeado São José, predominando o Latossolo Vermelho e o Cambissolo Háplico, em áreas entre 600 e 780m de altitude. Prevaecem as declividades entre 0 e 25%. A concentração populacional, a impermeabilização e o direcionamento das águas pluviais aos cursos d'água, contribuíram com o aumento do escoamento superficial.

A seguir, têm-se os cenários virtuais com base no uso da terra de 2015.

#### 7.1.2 Cenários virtuais

No cenário 2015 – APP (Figura 60), o escoamento superficial variou de 27,9 a 919,5mm; no cenário 2015 – Cultivo (Figura 61), de 27,9 a 958,3mm, e no cenário 2015 – Edificações (Figura 62), de 27,9 a 974,1mm.

No **cenário 2015 – APP** (Figura 60) as sub-bacias 17 e 38 teriam 27,9 e 28,5mm, respectivamente de escoamento superficial. A sub-bacia 17 encontra-se na bacia do lajeado São José, teria 56,75% de mata nativa, seguida de pasto com 43,52%. A sub-bacia 38 pertence à bacia do lajeado Passo dos Índios, teria como principais tipos de uso da terra: 58,8% de mata nativa, 29,99% de pasto e 1,88% de edificações. Essa sub-bacia possui mais mata nativa em relação à sub-bacia 17, assim como maior escoamento superficial. O diferencial está nas áreas impermeabilizadas das edificações na sub-bacia 38.

Com maior taxa de escoamento superficial teriam as sub-bacias 27 com 918,0mm e a 32 com 919,5mm. A sub-bacia 27 teria somente 6,09% de mata nativa e predomínio de ocupação urbana com 92%, enquanto a sub-bacia 32 teria 4,59% de vegetação nativa e 94,74% de ocupação urbana.



Figura 60 – Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 - APP

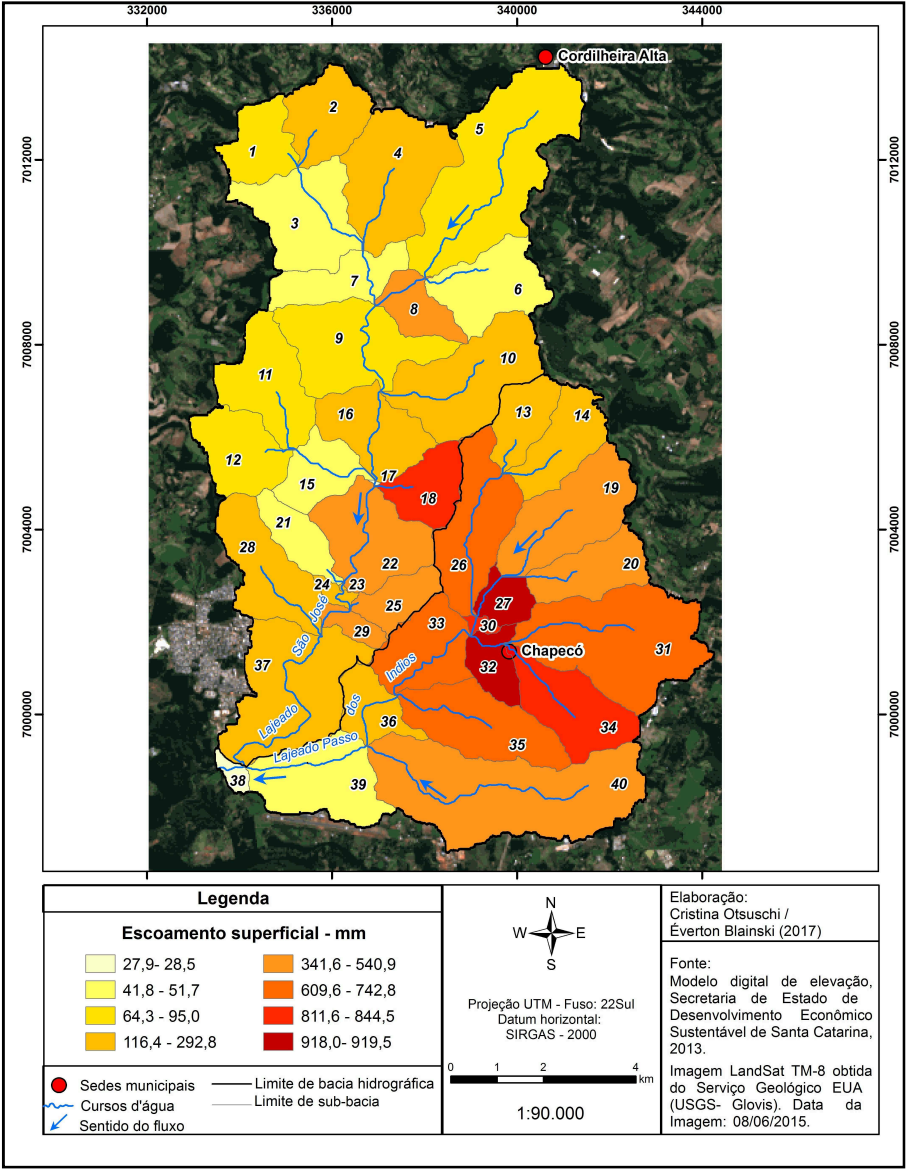


Figura 61 – Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 - Cultivo

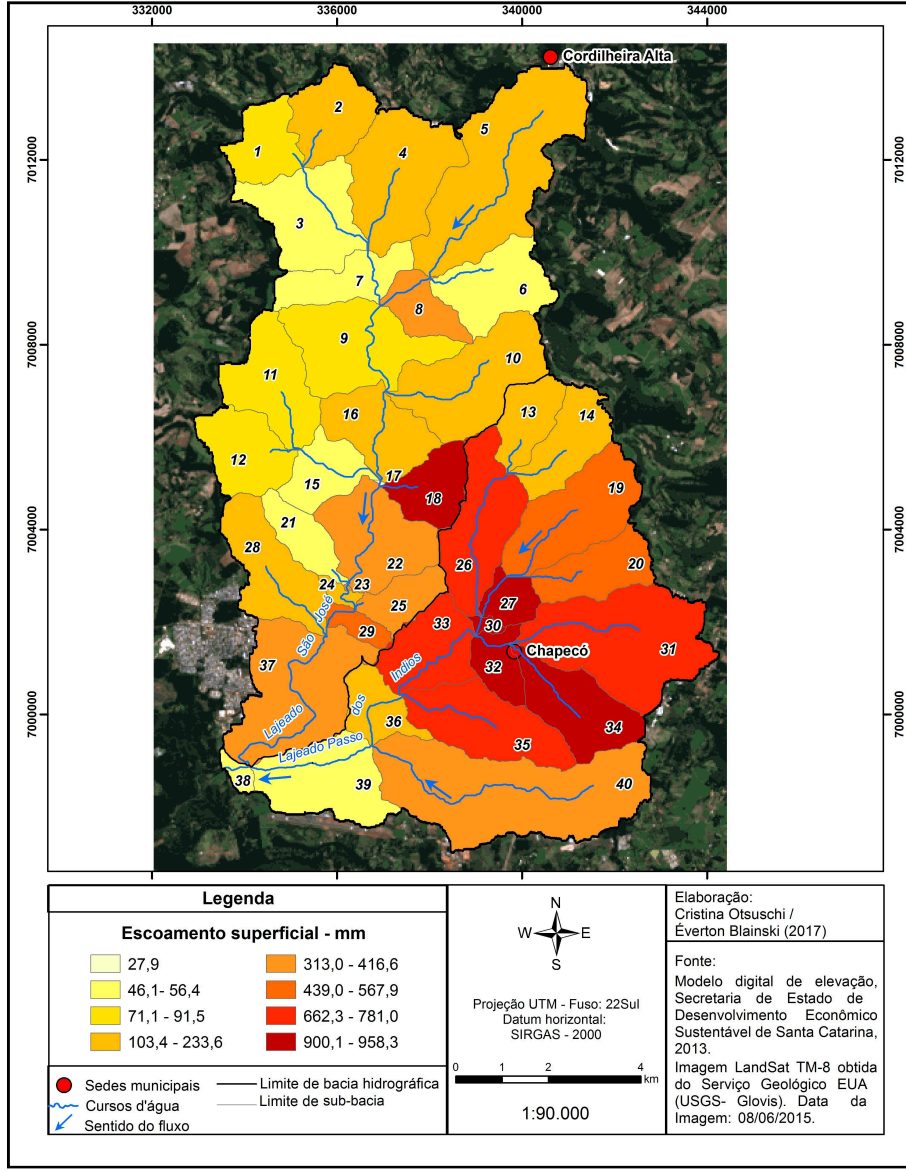
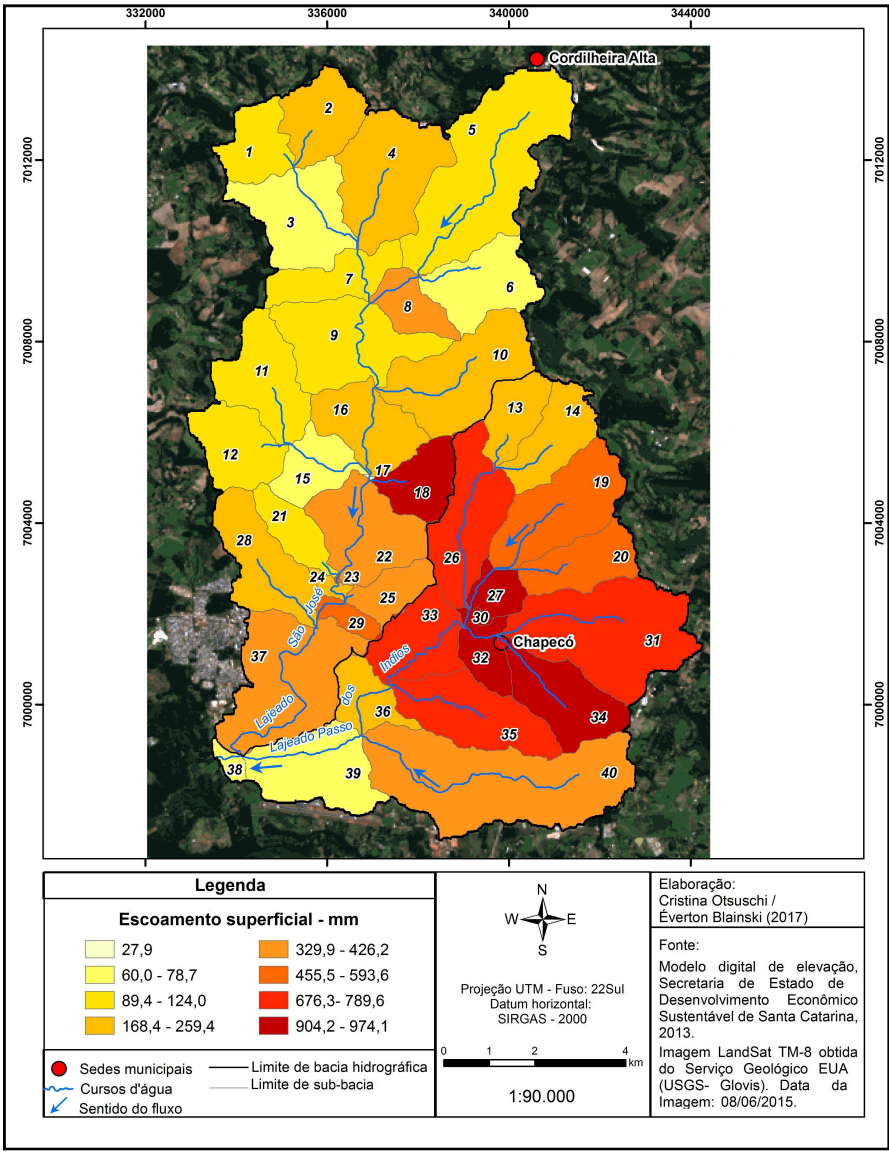


Figura 62 – Escoamento superficial nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 - Edificações







Ambas encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios. Em relação ao cenário 2015, as duas sub-bacias reduziram o escoamento superficial tendo aumento de cobertura florestal com a simulação de Áreas de Preservação Permanente.

Na bacia do lajeado São José, a sub-bacia 18 teria o maior escoamento superficial com 825,2mm. Vale ressaltar que esta sub-bacia, também vem apresentando o maior escoamento superficial nos cenários reais. As sub-bacias 8, 25, 22 e 29 também se destacaram com o escoamento superficial variando entre 341,6 e 461,6mm, em que as áreas de edificações superam as matas nativas, com exceção da sub-bacia 8.

Com a simulação de Áreas de Preservação Permanente a bacia do lajeado São José, teria 4,83% a mais de mata, enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios, aumentaria em 2,87% de cobertura florestal nativa. Constatou-se que as sub-bacias do lajeado São José teriam menor escoamento superficial, enquanto as sub-bacias com maior escoamento superficial encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios e na área urbana de Chapecó.

No **cenário 2015 - Cultivo** (Figura 61), o menor escoamento superficial seria de 27,9mm na sub-bacia 17 do lajeado São José. Como não houve alteração quantitativa nos tipos de uso da terra, o escoamento superficial estimado manteve-se em relação ao cenário 2015. Na bacia do lajeado Passo dos Índios o menor escoamento superficial foi estimado na sub-bacia 38 com 56,2mm. Ao comparar com o cenário 2015 verificou-se que, apesar da redução da mata, o aumento em 0,47% de cultivo, não foi suficiente para mudar o escoamento superficial

As sub-bacias 1, 9, 11 e 12 teriam escoamento superficial entre 71,1 e 91,5mm: Nessas sub-bacias verificou-se que a taxa de edificações ou ocupação urbana não passa de 7,17% (sub-bacia 11), porém o solo exposto predomina em relação aos demais tipos de uso da terra. Ressalta-se que a mata nativa é inferior a 11,63% na sub-bacia 1.

Essa sub-bacia tem o maior índice de vegetação nativa entre as sub-bacias deste grupo, tendo 5,44% de silvicultura, mas predomina solo exposto com 33,18%, seguido de cultivo com 23,99%, pasto com 20,85% e edificações com 4,73%. Essa sub-bacia tem o menor escoamento superficial desse grupo, enquanto a sub-bacia 11 tem o maior escoamento, caracterizando-se por ter a maior área de edificações e cultivo.

Com escoamento superficial entre 313,0 e 416,6mm as sub-bacias 8, 22, 23, 25, 37, 40 caracterizam-se por terem edificações ou ocupação urbana, maior ou no valor aproximado da mata nativa. Somente a sub-bacia 23 não possui vegetação, predominando solo exposto e edificações, seguido de pasto e cultivo. Essa sub-bacia teria o maior escoamento superficial entre as sub-bacias desse grupo.

O escoamento superficial com maior índice seria nas sub-bacias 34, 18, 30, 32 e 27, variando entre 900,1 e 958,3mm. A sub-bacia 34 teria menor valor no escoamento superficial enquanto a sub-bacia 27 teria maior valor. Na sub-bacia 34 não teria vegetação nativa, mas a silvicultura seria de 3,61% e a ocupação urbana de 88,85%, enquanto na sub-bacia 27, predominaria ocupação urbana com 96,05%, a vegetação nativa seria de 0,08% e a silvicultura seria de 0,67%. Ambas as sub-bacias encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios, sinalizando que a ausência de cobertura florestal e o predomínio da impermeabilização, propiciam maior escoamento e impactos ambientais relativos à concentração superficial da água pluvial.

No **cenário 2015 – Edificações**, a sub-bacia com menor escoamento superficial seria a 17 com 27,9mm. (Figura 62) O valor do escoamento foi o mesmo dos cenários 2015 e 2015 cultivo, pois não houve mudança no uso da terra. Na bacia do lajeado Passo dos Índios, o menor escoamento foi estimado na sub-bacia 38, com 60,0mm. Essa sub-bacia teria aumento de 0,47% de edificações com a supressão da cobertura florestal nativa, acrescentando 3,8mm de escoamento superficial em relação ao cenário 2015.

O maior valor de escoamento superficial entre 904,2 e 974,1mm ficaria para as sub-bacias 18, 27, 30, 32 e 34. A sub-bacia 18 com 916,2mm encontra-se na bacia do lajeado São José, as demais fazem parte da bacia do lajeado Passo dos Índios. A sub-bacia com maior escoamento nessa bacia é a 27 e encontra-se na área urbana de Chapecó, possuindo 97,61% de edificações.

A comparação entre os cenários 1989 e 1996 aponta para o aumento do escoamento superficial esoc. Constatou-se a redução do escoamento superficial com o aumento de área com cobertura florestal nativa, como na simulação das Áreas de Preservação Permanente. O escoamento superficial no cenário 1989 foi menor em relação ao cenário 1996, em que houve decréscimo na vegetação florestal nativa.

Para melhor compreensão da evolução do escoamento superficial de acordo com a mudança nos usos da terra, foi elaborada uma tabela contendo os cenários reais e virtuais. Ressalta-se que o cenário 1989 foi a referência inicial para comparar o escoamento superficial com o cenário 1996. Em relação aos cenários virtuais, o cenário 2015 foi a referência para os cenários APP, Cultivo e Edificações (Tabela 16).

Em relação aos cenários reais, verificou-se que na bacia do lajeado São José a maioria das sub-bacias teve aumento no escoamento superficial entre os cenários. A sub-bacia 7 manteve em 26,0mm nos cenários 1989, 1996 e 2010; ampliando para 49,1mm no cenário 2015. No cenário 1989 essa sub-bacia tinha o predomínio de mata nativa e silvicultura, no cenário 1996 houve redução de 59% de mata nativa e silvicultura, porém teve aumento da área de cultivo em 30,25% e de pasto 28,11%. Para o cenário 2010 houve aumento da área de silvicultura e de cultivo, reduzindo as áreas com pastagem. O escoamento superficial aumentou no cenário 2015, tendo aumento de solo exposto e da área com edificações.

Algumas sub-bacias reduziram o escoamento superficial, como a sub-bacia 8 até o cenário 2010. As áreas com mata nativa, silvicultura e cultivo, diminuíram e teve aumento em solo exposto, pastos e edificações. No cenário 2015 houve aumento do escoamento superficial, assim como da cobertura vegetal, solo exposto, edificações e pastos, reduzindo as áreas de cultivo.

A sub-bacia 17 praticamente manteve o escoamento superficial, mesmo com a redução da mata nativa, porém reduziu o solo exposto, substituído por cultivos e pastos.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios houve redução do escoamento superficial, do solo exposto e da mata nativa, na maioria das sub-bacias no cenário 1996. A sub-bacia 19 diminuiu o escoamento superficial, considerando a redução do solo exposto e aumento das áreas de pastagens, mesmo com aumento das edificações e redução da cobertura florestal. No cenário 2010 aumentou o escoamento superficial, considerando o acréscimo das áreas com edificações.

Nos cenários virtuais todas as sub-bacias reduziram o escoamento superficial no cenário 2015- APP, com exceção da sub-bacia 17. Nesta sub-bacia não houve mudança no uso da terra, sendo constante o escoamento superficial em todos os cenários virtuais.

Tabela 16 – Escoamento superficial (mm) nos cenários reais e virtuais nas sub-bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios

Sub-bacias		CENÁRIOS REAIS				CENÁRIOS VIRTUAIS		
		1989	1996	2010	2015	APP	Cultivo	Edificações
Bacia do Lajeado São José	1	24,6	24,9	36,0	71,0	64,3	71,1	115,8
	2	26,3	26,7	58,0	172,2	171,1	172,4	218,4
	3	26,5	26,6	27,1	52,8	48,1	52,8	71,7
	4	26,8	42,5	52,1	194,7	182,3	194,7	226,9
	5	26,1	32,2	38,8	103,3	95,0	103,4	121,5
	6	26,4	26,6	27,5	46,0	41,8	46,1	78,7
	7	26,0	26,0	26,0	49,1	45,8	49,1	89,4
	8	225,8	221,1	216,0	372,3	341,6	372,4	389,6
	9	27,2	35,6	32,1	73,3	68,4	73,3	89,1
	10	26,6	34,1	46,1	188,3	172,0	188,3	207,4
	11	22,0	22,3	22,4	91,4	85,2	91,5	124,0
	12	24,8	26,6	25,0	77,5	65,8	77,6	115,9
	15	27,6	29,8	27,7	54,8	51,7	54,8	64,7
	16	27,8	71,8	75,1	219,3	218,3	219,3	241,6
	17	28,2	28,5	28,2	27,9	27,9	27,9	27,9
	18	719,1	682,7	846,5	902,2	825,2	902,2	916,2
	21	26,6	27,3	29,3	52,4	41,8	52,5	93,5
	22	277,3	270,5	364,1	386,6	357,7	386,6	400,5
	23	27,9	28,1	192,6	416,4	292,8	416,6	511,3
	24	27,7	36,5	60,9	143,5	119,0	143,5	172,8
25	273,2	269,6	285,5	377,2	345,5	377,2	426,2	
28	26,1	62,6	155,7	222,5	203,7	222,5	259,4	
29	563,1	530,8	643,8	471,0	461,6	471,1	512,9	
37	121,2	116,8	228,6	313,0	271,9	313,0	329,9	
Bacia do Lajeado Passo dos Índios	13	27,3	27,3	27,3	131,0	116,4	131,0	168,4
	14	27,2	76,2	226,9	233,5	223,3	233,6	257,1
	19	280,0	265,7	425,5	438,9	411,6	439,0	455,5
	20	254,0	246,3	525,9	567,9	540,9	567,9	593,6
	26	608,9	562,9	780,1	764,0	700,9	764,0	771,9
	27	992,9	926,7	954,8	958,3	918,0	958,3	974,1
	30	879,3	874,4	911,5	947,6	844,5	947,6	963,7
	31	373,1	356,0	569,6	662,3	609,6	662,3	676,3
	32	963,1	922,1	961,9	956,4	919,5	956,4	961,8
	33	674,8	650,5	728,7	740,6	681,2	740,6	750,6
	34	592,9	556,4	904,5	900,1	811,6	900,1	904,2
	35	670,3	611,8	769,7	781,0	742,8	781,0	789,6
	36	16,8	49,7	53,2	165,6	162,9	165,6	179,1
	38	12,5	14,8	12,6	56,2	28,5	56,2	60,0
	39	18,1	24,5	21,0	56,4	46,6	56,4	73,8
	40	145,3	136,4	269,9	361,6	345,7	361,6	378,4

Legenda:



Controle



Sem alteração



Redução



Ampliação

Fonte: (Modelagem SWAT). Elaboração: Éverton Blainski e Cristina Otsuschi, 2017.

No cenário 2015 – Cultivo a sub-bacia 19 teve aumento de 1,0mm, sendo considerada a maior diferença no escoamento superficial entre as sub-bacias 1, 2, 5, 6, 8, 11, 12, 21, 23, 29 e 14. Somente as sub-bacias 14 e 19 fazem parte da bacia

do lajeado Passo dos Índios. As sub-bacias do lajeado São José foram as que mais tiveram alteração nesse cenário ambiental.

Os resultados do escoamento superficial nesse cenário indicam que a área substituída por cultivo não foi suficiente para ter alteração hidrológica e que o cultivo, por ter área coberta com vegetação, possibilita a infiltração gerando menos escoamento superficial em relação aos outros tipos de uso da terra, como as edificações.

O aumento do escoamento superficial ficou em evidência com a substituição da mata nativa por construções no cenário 2015 - Edificações, em todas as sub-bacias que tiveram mudança no uso da terra, exceção para a sub-bacia 17.

Constatou-se que as sub-bacias 22, 23, 25, e 37 têm contribuição significativa com o escoamento superficial na bacia do lajeado São José, com destaque para as sub-bacias 8, 18 e 29 em todos os cenários. As sub-bacias 28 e 37 tiveram aumento considerável entre os cenários ambientais, ressaltando que há uma tendência da expansão urbana no oeste de Chapecó. Outras sub-bacias que merecem atenção para o aumento do escoamento superficial são 4, 5, 10, 16 e 17.

A bacia do lajeado São José possui predomínio de cultivo, pasto, solo exposto, mata nativa e silvicultura. Com a mata nativa o escoamento superficial foi menor em relação às áreas com mais cultivo, solo exposto e edificações, principalmente este último uso da terra.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios as sub-bacias mais críticas em relação ao escoamento superficial foram: 26, 33 e 35, com destaque para 27, 30, 32 e 34. Essas sub-bacias encontram-se na área central de Chapecó, marcada pela impermeabilização e canalização de trechos dos cursos d'água. Essas características reduzem a infiltração da água pluvial no solo, aumenta a velocidade da água para chegar aos rios, assim como, a possibilidade de inundações (DREW, 1994).

Outras sub-bacias que tiveram redução da mata nativa e aumento de edificações, passando a ter maior escoamento expressivo foram as sub-bacias 14, 19, 20, 30, 31 e 40. A ocupação inicialmente em áreas mais planas entre 0 e 15% de declividades, está se expandindo para as áreas com declividades maiores em áreas de nascentes.

Destaca-se a evolução do escoamento superficial na sub-bacia 14, tendo aumento significativo entre os cenários reais, variando de 27,2 a 233,5mm e

atingindo 257,1mm no cenário 2015 – Edificações. Do cenário 1989 para o cenário 1996 a mata nativa é o tipo de uso da terra que teve maior redução, em 20,93%. As edificações aumentaram em 4,59%, o cultivo em 14,12% e o pasto em 4,86%.

Comparando o cenário 1996 com o cenário 2010 o aumento foi de 150mm nessa sub-bacia, sendo caracterizada pelo decréscimo, principalmente do solo exposto, cultivo e pasto. O aumento de mata nativa foi aproximadamente de 2% e 14,7% de edificações.

Em relação ao cenário 2015 o escoamento superficial aumentou em 6,6mm. As principais mudanças no uso da terra seriam a redução de quase 4% da mata nativa e de 36,38% de cultivo, aumento de solo exposto em 25,23%, de pasto em 15,78% e de edificações em 0,79%. As áreas construídas contribuem com a impermeabilização e o aumento do escoamento superficial. O solo exposto também possibilita a concentração superficial da água pluvial, em que Rodrigues et al. (2015) destacam que o escoamento superficial e a perda de solo, foram maiores em parcelas com solo exposto ao comparar as parcelas com cobertura vegetal.

## 7.2 VAZÃO MÉDIA ANUAL

### 7.2.1 Cenários reais

A vazão média anual variou no cenário 1989 (Figura 63) entre 0,07 e 5,45m<sup>3</sup>/s, no cenário 1996 (Figura 64), entre 0,07 e 5,49m<sup>3</sup>/s, no cenário 2010 (Figura 65), entre 0,07 e 5,50m<sup>3</sup>/s e no cenário 2015 (Figura 66), entre 0,07 e 5,51m<sup>3</sup>/s.

No **cenário 1989** (Figura 63), a menor vazão média foi estimada nas sub-bacias 21 e 25. A sub-bacia 21 possui mais mata nativa e solo exposto em relação à sub-bacia 25, que se destaca pela área de cultivo e edificações. Essas sub-bacias fazem parte da bacia do lajeado São José, caracterizam-se pela presença de rochas da Formação Chapecó, de solo tipo Latossolo Bruno e com predomínio de declividades entre 0 e 25%.

A menor vazão média da bacia do lajeado Passo dos Índios foi estimada na sub-bacia 13 com 0,08m<sup>3</sup>/s. Essa sub-bacia tinha aproximadamente 28% de sua área com mata nativa, destacando a área de cultivo e depois, solo exposto.



Figura 63 – Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1989

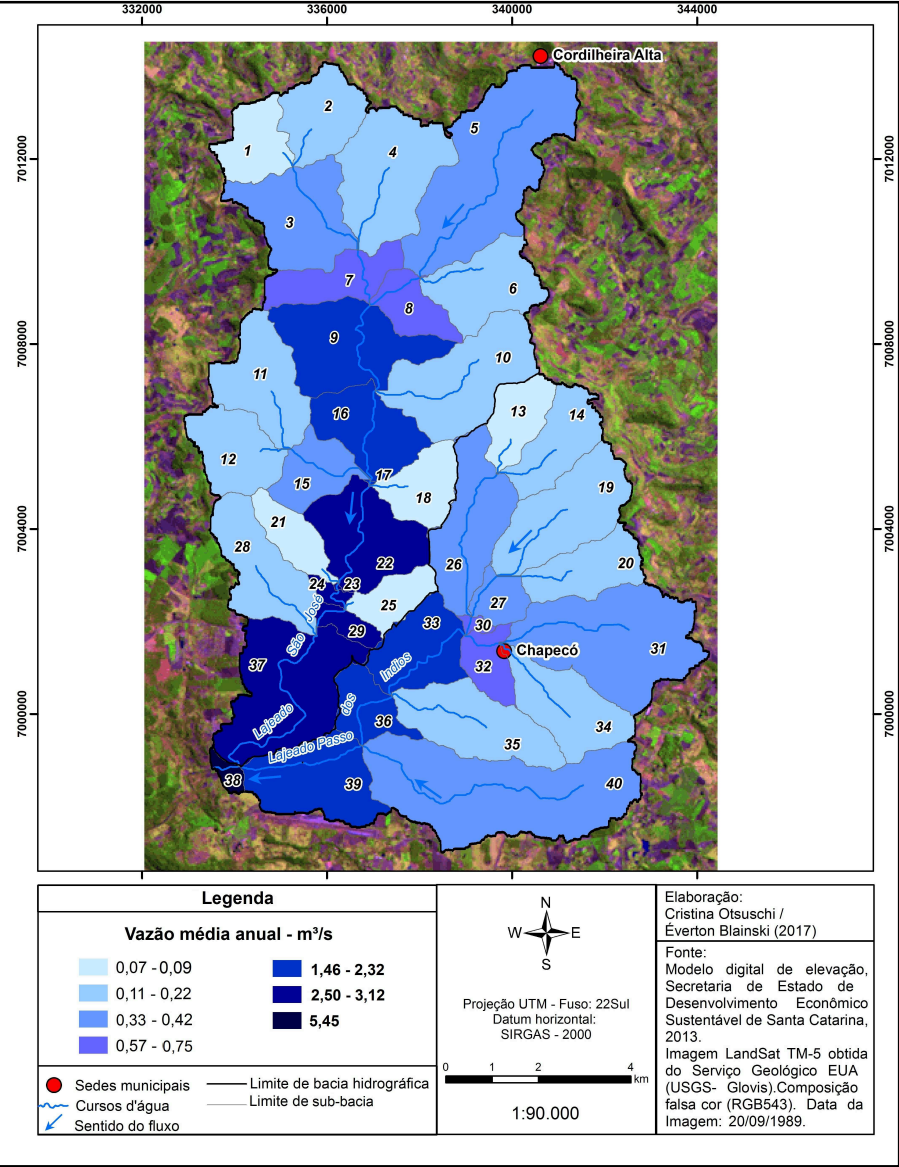


Figura 64 – Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 1996

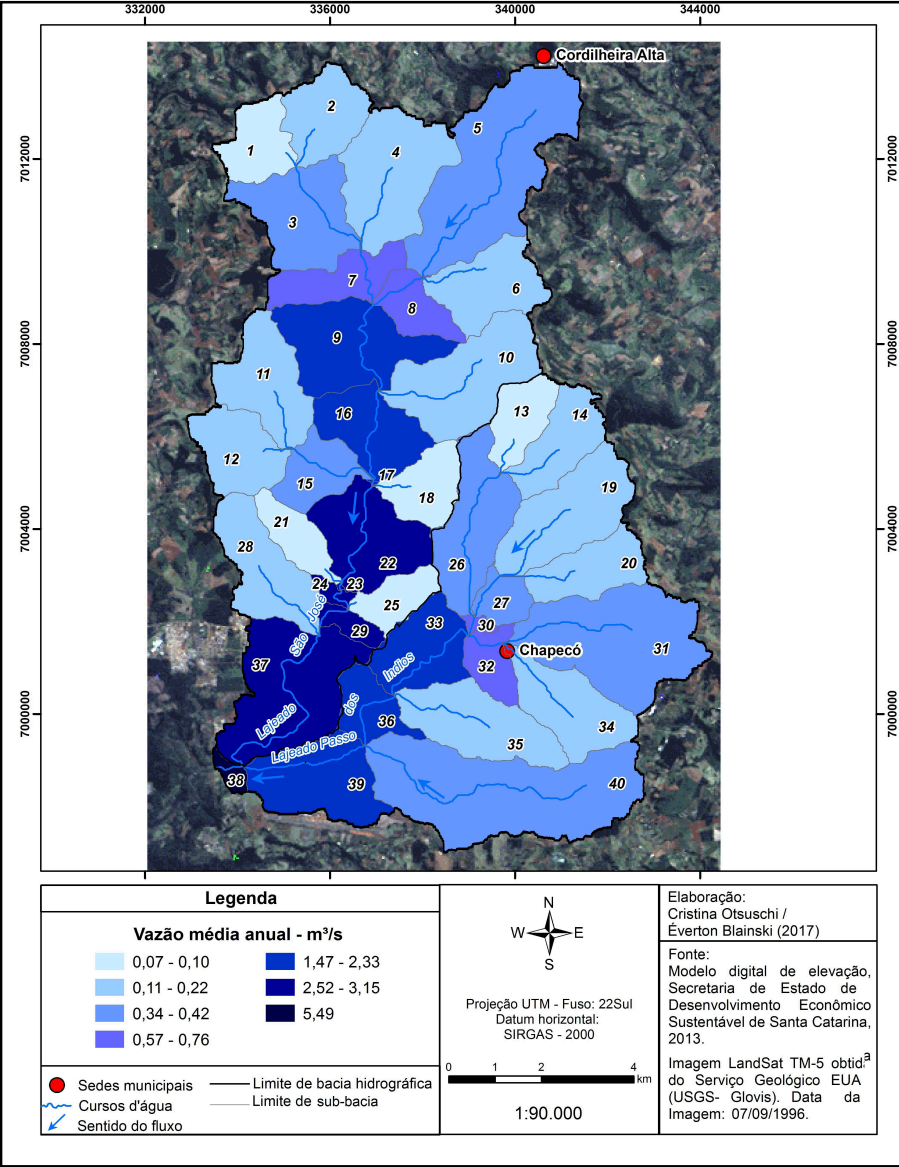


Figura 65 – Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2010

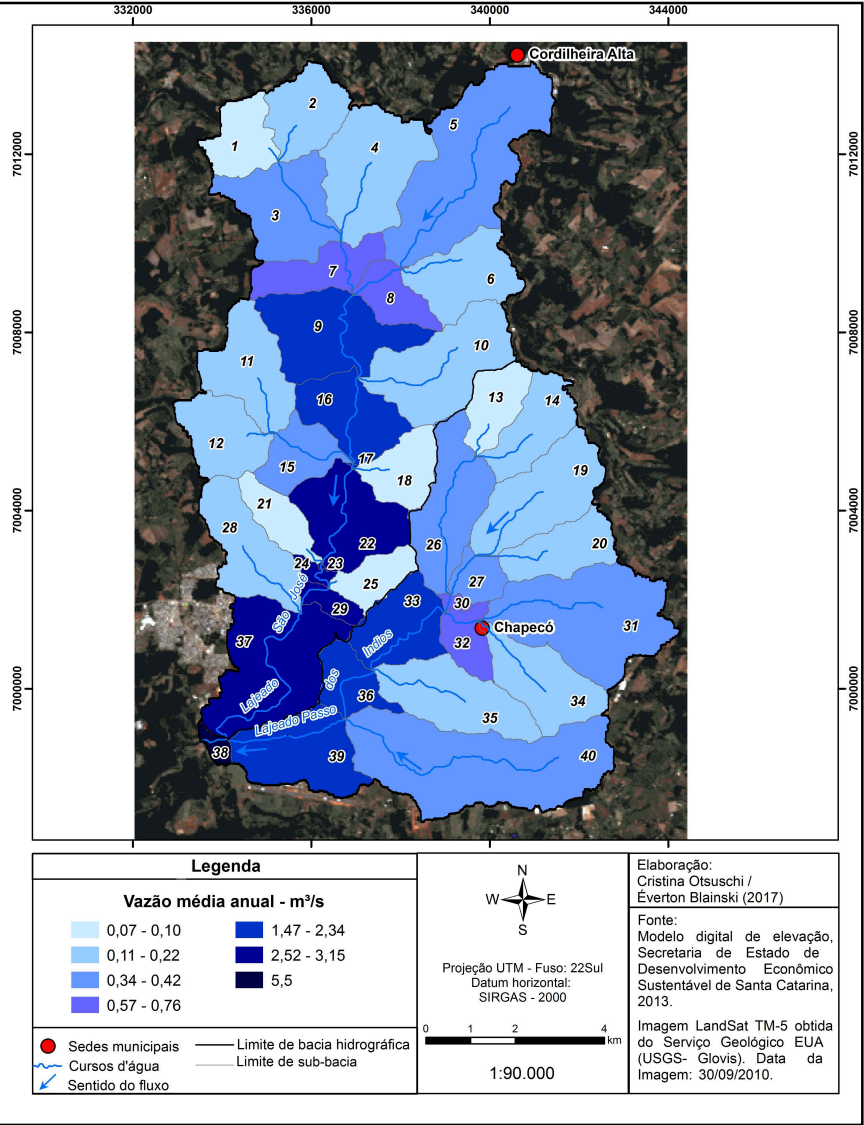
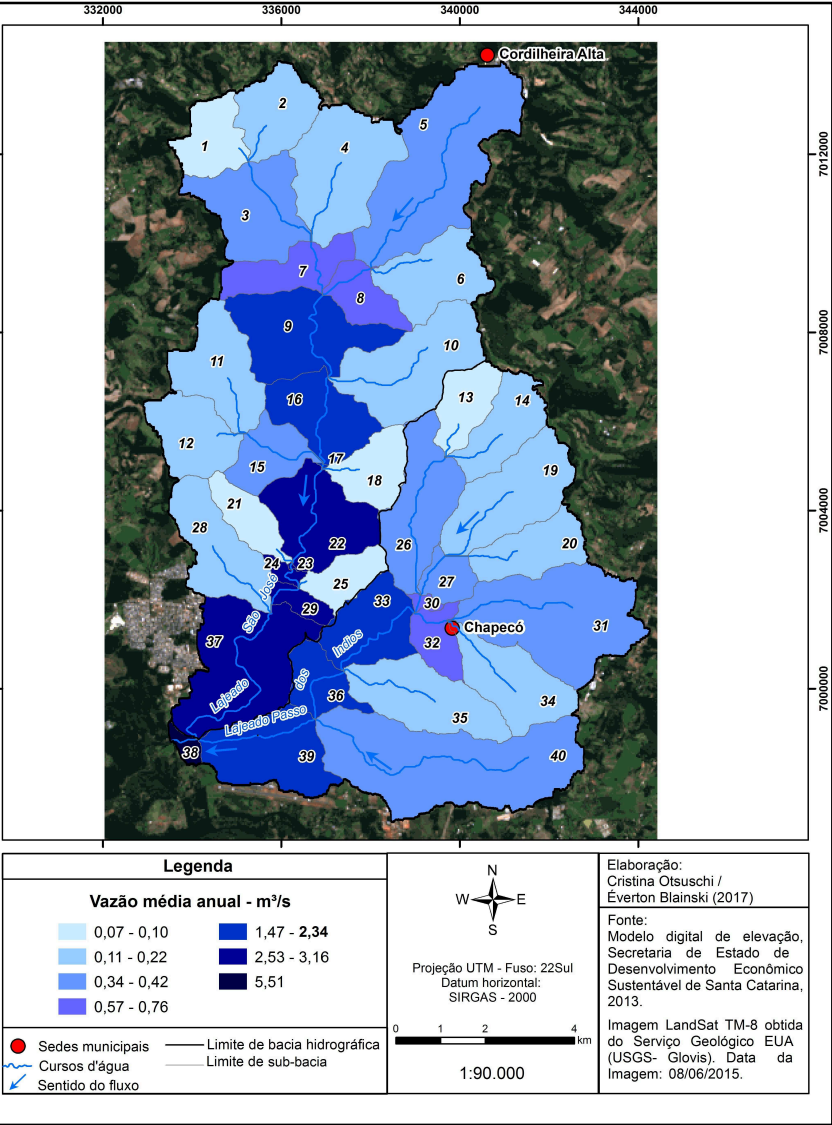


Figura 66 – Vazão média nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015







As rochas dessa sub-bacia são da Formação Paranapanema e Cordilheira Alta, o solo é o Nitossolo Vermelho, com predomínio de declividades entre 0 e 25%. Declividades acima de 25% são encontradas nas proximidades das nascentes.

A maior vazão média foi de  $5,45\text{m}^3/\text{s}$  na sub-bacia 38, que se encontra na bacia do lajeado Passo dos Índios, na confluência dos lajeados São José e Passo dos Índios. A sub-bacia 13, com menor vazão desta bacia hidrográfica, tinha 4,72% a mais de mata nativa em relação à sub-bacia 38, menos solo exposto e não tinha pasto.

Na bacia do lajeado São José, a maior vazão foi de  $3,12\text{m}^3/\text{s}$  na sub-bacia 37. Apesar desta sub-bacia ter mais mata nativa em relação às sub-bacias 21 e 25, também possui mais solo exposto, edificações e pastos.

Nas sub-bacias 37 e 38 predomina basalto da Formação Paranapanema e Cordilheira Alta, apresentando também basalto e rochas ácidas da Formação Chapecó. Essas sub-bacias caracterizam-se pelas declividades acima de 25%, com predomínio do Cambissolo Háplico, seguido de Latosso Bruno.

Em 1989 a sub-bacia 17 tinha 87,2% de mata nativa e solo exposto. Seria a maior área de mata nativa entre as sub-bacias. Já a sub-bacia 36 tinha 48,37% de mata nativa, seguido de 42,07% de cultivo e 7,69% de solo exposto. Essa sub-bacia tinha a maior área de mata nativa na bacia do lajeado Passo dos Índios. Para a sub-bacia 17 foi estimada  $2,24\text{m}^3/\text{s}$  de vazão média e  $1,72\text{m}^3/\text{s}$  para a sub-bacia 36. A sub-bacia 17 encontra-se na bacia do lajeado São José.

A sub-bacia 23 da bacia do lajeado São José não tinha vegetação nativa, somente cultivo e teve  $2,57\text{m}^3/\text{s}$  de vazão média. A sub-bacia 32 tinha 1,17% de mata nativa, sendo a menor área com esse tipo de uso da terra na bacia do lajeado Passo dos Índios. As edificações com mais de 85% foram o destaque dessa sub-bacia, com  $0,57\text{m}^3/\text{s}$  de vazão média.

Considerando as características geológicas, clinográficas, pedológicas e o uso da terra das sub-bacias, verificou-se que a rede de drenagem sinaliza indícios da ocorrência de rochas com diaclases, como pode ser observado a montante da barragem no lajeado São José, nas proximidades da sub-bacia 29. Dessa forma, os canais fluviais são aprofundados com a ação erosiva da água e os vales são mais encaixados apresentando maior vazão, conforme destaca Bartorelli (2004).

De acordo com Peluso Jr. (1986) a forma dos vales, geralmente, está associada com as características das discontinuidades físicas presentes em cada

derrame de rochas basálticas, sendo as diaclases de resfriamento as mais comuns. O autor enfatiza que os rios encaixados em diaclases com mergulho vertical tendem a apresentar vales profundos e estreitos, o que justificaria o aumento de vazão em determinados trechos dos lajeados São José e Passo dos Índios, fato observado na área de estudo em todos os cenários ambientais.

Para conhecer as interferências do uso da terra na vazão média anual foram destacadas sub-bacias com mais mata nativa, as que tiveram maior e menor vazão média anual nos cenários 1996, 2010 e 2015 e nos cenários virtuais.

No **cenário 1996** (Figura 64), a menor vazão média foi estimada para as sub-bacias 21 e 25 com  $0,07\text{m}^3/\text{s}$ . Para as duas sub-bacias houve redução de mata nativa, principalmente para a sub-bacia 21, porém manteve-se a vazão do cenário 1989. O mesmo ocorreu com a sub-bacia 13, reduzindo mata nativa, solo exposto e aumentando a área de cultivo.

As maiores vazões médias continuam com as sub-bacias 37, da bacia do lajeado São José, com  $3,15\text{m}^3/\text{s}$  e a 38, da bacia do lajeado Passo dos Índios com  $5,49\text{m}^3/\text{s}$ . Em ambas sub-bacias verificou-se, redução da mata nativa, do solo exposto e aumento da área de cultivo, pasto, edificações e na vazão média também.

Ressalta-se que em 1996 constatou-se a redução significativa da área com mata nativa, tendo aumento da vazão média no cenário 1996 em algumas sub-bacias, como: 1, 5, 7, 8, 26, 30 e 31, sendo a sub-bacia 38, com maior aumento entre as sub-bacias. Observou-se que em muitas sub-bacias com aumento na vazão média, reduziram também, o solo exposto e aumentaram área de cultivo, pasto e em algumas sub-bacias, as edificações.

No **cenário 2010** (Figura 65) não houve mudança na classificação das sub-bacias com menor ou maior vazão. As sub-bacias 21 e 25 da bacia do lajeado São José e a sub-bacia 13, da bacia do lajeado Passo dos Índios continuam com os menores volumes, não alterando a vazão média anual. Em relação ao uso da terra, nessas sub-bacias aumentaram a área com cobertura florestal remanescente, silvicultura, cultivo e edificações. A redução foi de solo exposto e de pasto.

As sub-bacias com menor área de mata nativa foram 18 e 32, das bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios, respectivamente. A primeira sub-bacia com vazão de  $0,09\text{m}^3/\text{s}$ , reduziu a área com mata nativa e a segunda, com  $0,57\text{m}^3/\text{s}$ , não teve alteração na cobertura florestal remanescente. Estas sub-bacias tiveram

aumento com as edificações, ocupando 99% da área da sub-bacia 32 com este tipo de uso da terra.

No **cenário 2015** (Figura 66), praticamente as sub-bacias reduziram silvicultura e áreas com cultivo, aumentando solo exposto, edificações e pasto. Ressalta-se, o aumento na vegetação florestal nativa. Das sub-bacias 13, 21 e 25, que tiveram menor vazão média de  $0,07\text{m}^3/\text{s}$ , somente a primeira sub-bacia não ampliou a área com cobertura florestal remanescente. Para Elmore e Beschta (1987) a mata ciliar é um exemplo para mostrar a relação entre cobertura florestal e vazão, pois pode aumentar no armazenamento da água, contribuindo com a vazão em períodos mais secos.

Nesse cenário, também não houve alteração na classificação das sub-bacias, somente no valor da vazão média de  $0,01\text{m}^3/\text{s}$  em algumas sub-bacias, como nas sub-bacias 37 com  $3,16\text{m}^3/\text{s}$  e na sub-bacia 38, com  $5,51\text{m}^3/\text{s}$ .

Constatou-se que nos cenários reais, as sub-bacias do lajeado São José destacaram-se pelas médias anuais mais altas na vazão, em relação às sub-bacias do lajeado Passo dos Índios.

### 7.2.2 Cenários virtuais

A vazão média anual variou de  $0,07$  a  $5,50\text{m}^3/\text{s}$  no cenário 2015 – APP (Figura 67), de  $0,07$  a  $5,52\text{m}^3/\text{s}$  no cenário 2015 – Cultivo (Figura 68) e de  $0,07$  a  $5,52\text{m}^3/\text{s}$  no cenário 2015 – Edificações (Figura 69).

No **cenário 2015 – APP** (Figura 67), com a simulação das Áreas de Preservação Permanente, a bacia do lajeado São José teria aumento de 4,83% de mata nativa e a bacia do lajeado Passo dos Índios, de 2,96%. Mesmo com aumento da cobertura florestal nativa, não houve mudança na média da vazão em 31 sub-bacias. Somente nas sub-bacias 16, 17, 22, 23, 24, 29, 37, 38 e 39 tiveram redução de  $0,01\text{m}^3/\text{s}$ .

Dessas sub-bacias, somente a 38 e a 39 fazem parte da bacia do lajeado Passo dos Índios, as demais pertencem à bacia do lajeado São José. Vale mencionar que as sub-bacias mencionadas tiveram as maiores médias anuais de vazão. Entre essas sub-bacias, a 38 teria  $5,50\text{m}^3/\text{s}$  e a 37, teria  $3,15\text{m}^3/\text{s}$  de vazão média. As sub-bacias 21 e 25 continuariam com  $0,07\text{m}^3/\text{s}$ , sendo a menor vazão média anual.



Figura 67 – Vazão média anual nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 - APP

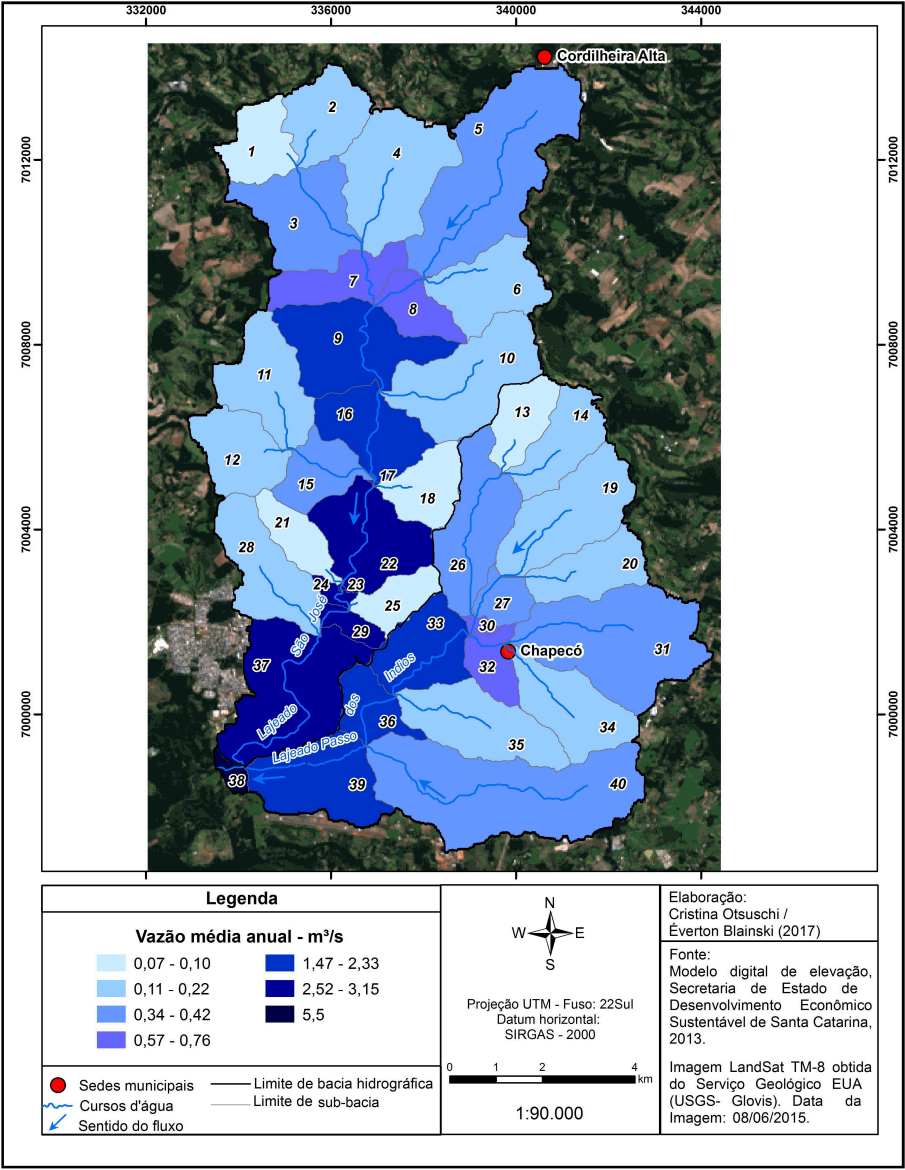


Figura 68 – Vazão média anual nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 - Cultivo

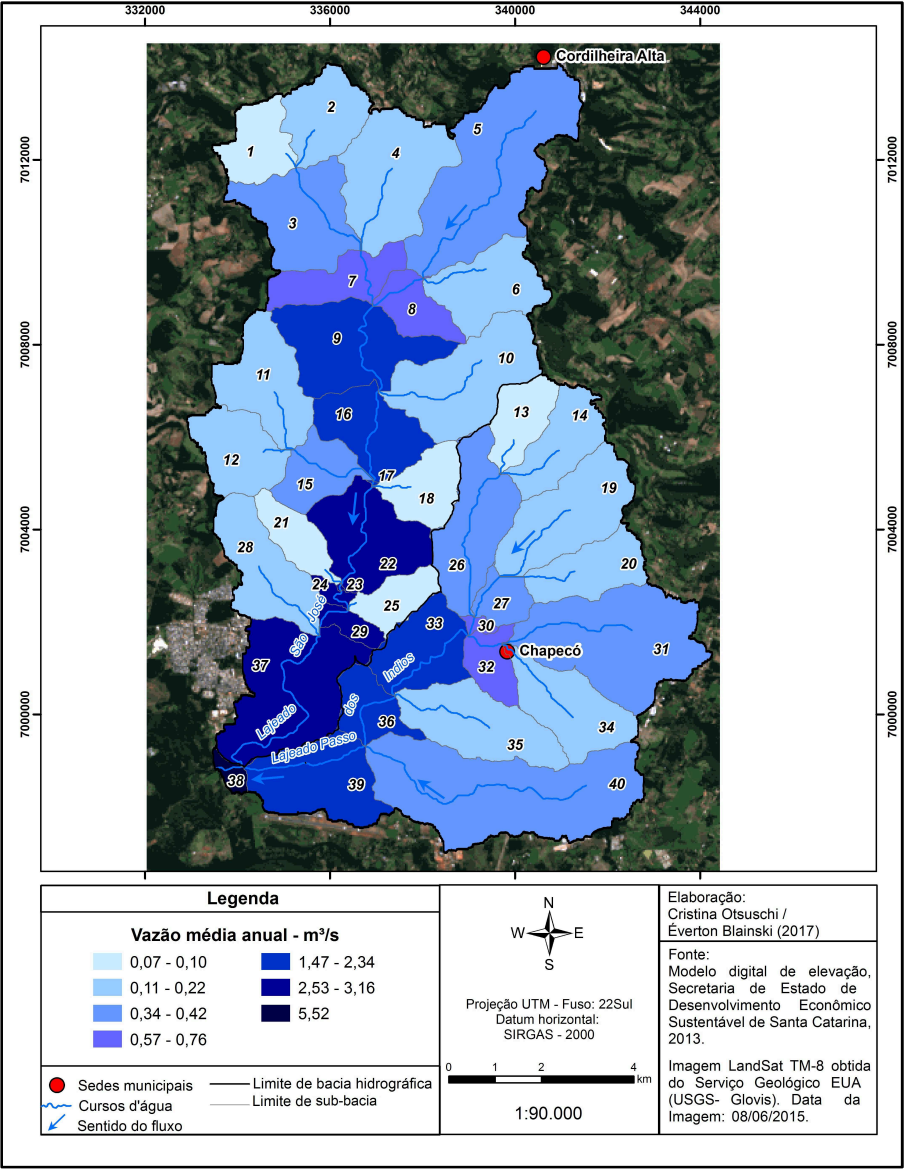
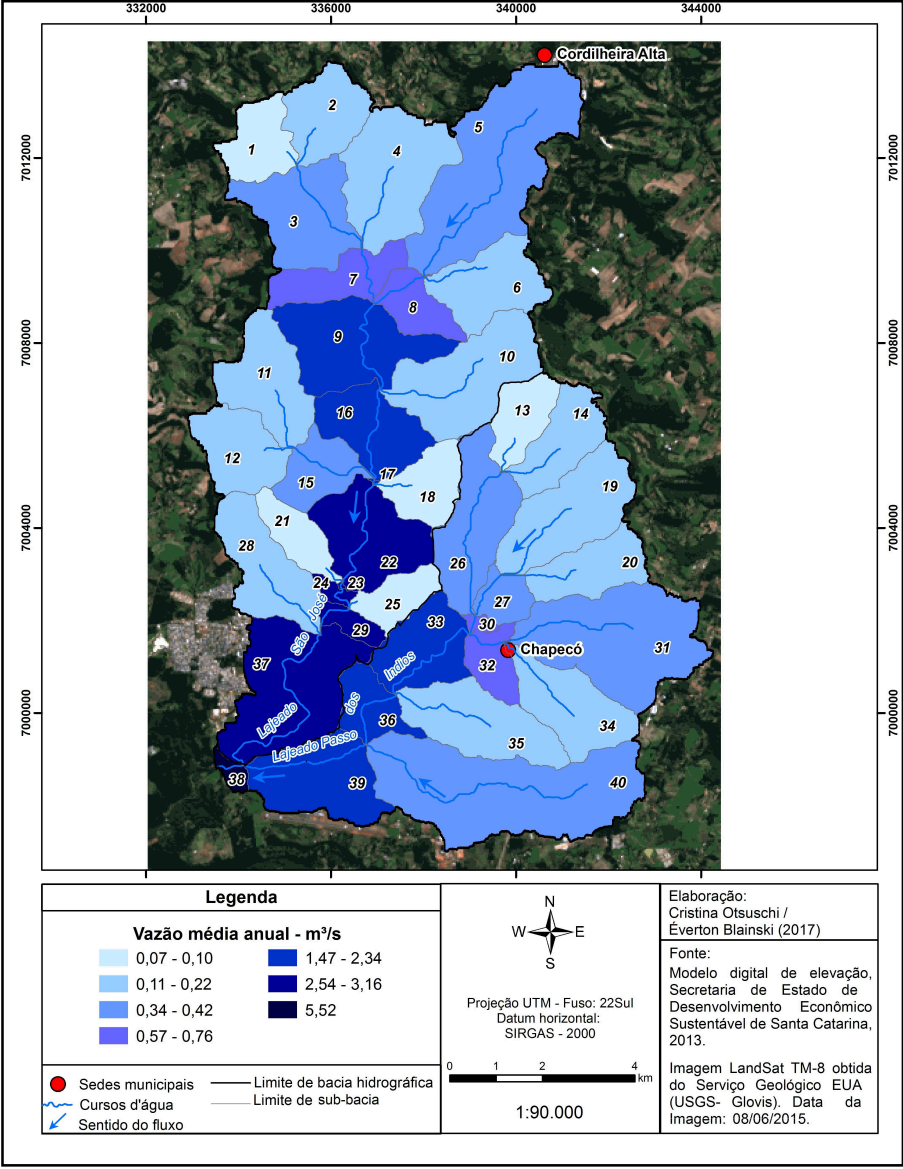


Figura 69 – Vazão média anual nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 - Edificações





Nos **cenários 2015 – Cultivo** (Figura 68) e **2015 – Edificações** (Figura 69), a mata nativa na bacia do lajeado São José seria de 8,33% e na bacia do lajeado Passo dos Índios, seria de 5,62%. Teria-se redução aproximada de 2,13% de área de mata nativa, aumentando para áreas de cultivo ou de edificações.

A sub-bacia 38 foi a única a ter aumento de  $0,01\text{m}^3/\text{s}$  no **cenário 2015 – Cultivo**, atingindo  $5,52\text{m}^3/\text{s}$  de vazão média anual. Esta sub-bacia tinha 45,57% de mata nativa, tendo aproximadamente 32% de pasto.

No **cenário 2015 – Edificações**, com a simulação do aumento das áreas construídas, as sub-bacias que teriam aumento na média da vazão anual: 22, 23 e 38. A sub-bacia 22 aumentaria em  $0,02\text{m}^3/\text{s}$ , chegando a  $2,54\text{m}^3/\text{s}$ , tendo 1,37% a menos de mata nativa ao comparar a vazão média com o cenário 2015. As outras sub-bacias mencionadas teriam aumento de  $0,01\text{m}^3/\text{s}$  na vazão média anual.

Visando comparar a evolução da vazão média anual por sub-bacias, a Tabela 17 apresenta o cenário 1989 como referência inicial entre os cenários reais. O cenário 2015 serviu de base para a comparação com os cenários virtuais.

As sub-bacias que tiveram aumento na vazão média anual no cenário 1996 foram: 1, 5, 7, 8, 9, 16, 17, 22, 23, 24 e 37 da bacia do lajeado São José. As sub-bacias 26, 30, 31, 33, 36, 38 e 39 também tiveram aumento na vazão média e fazem parte da bacia do lajeado Passo dos Índios. As demais sub-bacias permaneceram com a vazão média anual do cenário 1989.

Comparando os cenários 1996 e 2010, somente as sub-bacias 38 e 39 tiveram aumento na vazão média anual. Nessas sub-bacias houve aumento no cultivo e na mata nativa. A redução foi constatada no solo exposto, nas edificações e no pasto. A sub-bacia 7 teve decréscimo de 0,01% e as outras sub-bacias não tiveram alteração na vazão média. Na sub-bacia 7 a silvicultura expandiu em 10,75%, mas, reduziu as áreas com cultivo e pasto.

Do cenário 2010 ao cenário 2015, as sub-bacias que aumentaram a vazão média anual foram: 7, 9, 15, 16, 17, 22, 23, 24 e 36 da bacia do lajeado São José; 14 e 38 da bacia do lajeado Passo dos Índios. As demais sub-bacias não tiveram alteração na vazão média anual.

Com o aumento da cobertura florestal ao simular as Áreas de Preservação Permanente, no cenário 2015 - APP as sub-bacias que teriam redução na vazão média anual: 9, 16, 17, 22, 23, 24, 37 da bacia do lajeado São José; 14, 38 e 39 da bacia do lajeado Passo dos Índios. Constatou-se que quase todas as sub-bacias

apresentariam a vazão média anual do cenário 1989, em que se tinha mais mata nativa entre os cenários reais.

Tabela 17 – Vazão média anual ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) nos cenários reais e virtuais nas sub-bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios

Sub-bacias		Cenários Reais				Cenários Virtuais		
		1989	1996	2010	2015	APP	Cultivo	Edificação
Bacia do Lajeado São José	1	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	4	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	5	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
	6	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
	7	0,72	0,73	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73
	8	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
	9	1,51	1,52	1,52	1,53	1,52	1,53	1,53
	10	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	11	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
	12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	15	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38
	16	1,87	1,88	1,88	1,89	1,88	1,89	1,89
	17	2,24	2,26	2,26	2,27	2,26	2,27	2,27
	18	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	21	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	22	2,5	2,52	2,52	2,53	2,52	2,53	2,54
	23	2,57	2,59	2,59	2,6	2,59	2,6	2,61
	24	2,59	2,61	2,61	2,62	2,61	2,62	2,62
Bacia do Lajeado Passo dos Índios	25	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	27	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
	28	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
	37	3,12	3,15	3,15	3,16	3,15	3,16	3,16
	13	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
	14	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12
	19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
	20	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	26	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
	27	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
	30	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
	31	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
	32	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
	33	1,46	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
	34	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
	35	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
	36	1,72	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,74
	38	5,45	5,49	5,5	5,51	5,5	5,52	5,52
	39	2,32	2,33	2,34	2,34	2,33	2,34	2,34
	40	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42

Legenda:

Referência    Sem alteração    Redução    Ampliação

Fonte: (Modelagem SWAT). Elaboração: Éverton Blainski e Cristina Otsuschi, 2017.



Em relação ao cenário 2015 – Cultivo houve mudança na vazão média anual somente na sub-bacia 38, em que diminuiu 0,46% de mata nativa e aumento de 0,01 m<sup>3</sup>/s. No cenário 2015 – Edificações, as sub-bacias 22 e 23 da bacia do lajeado São José; 13, 36 e 38 da bacia do lajeado Passo dos Índios, tiveram aumento de 0,01m<sup>3</sup>/s em cada sub-bacia em relação ao cenário 2015.

O maior número de sub-bacias com aumento na vazão média anual ocorreu no cenário 1996, tendo redução na mata nativa e solo exposto. Já a redução da vazão média anual foi verificada no cenário 2015 – APP, considerando que houve a ampliação da cobertura florestal. Essa relação entre aumento da vazão com redução da cobertura florestal foi destacada por Tucci e Clarke (1997) ao comentar os estudos de Hibbert (1967).

Ressalta-se que o aumento da vazão média não foi acentuado, como também foi constatado em outros trabalhos, como o de Souza, V. (2016) em que a vegetação foi substituída por cana-de-açúcar e a variação na vazão média não teve muita alteração. Blainski et al. (2014) enfatizam que nem sempre os efeitos hidrológicos são significativos com as mudanças no uso da terra.. Considera-se que a mata nativa contribui para a regularização da vazão fluvial.

Verificou-se que as sub-bacias que tiveram menor vazão foram 25, 21, 13 e 18, tendo como solo o Latossolo Bruno. As sub-bacias que tiveram maior vazão foram 22, 23, 24, 29, 37 e 38, tendo como solo predominante o Latossolo Bruno, seguido de Cambissolo Háplico. Estas sub-bacias encontram-se em altitudes variando entre 600 e 680m, com predomínio de declividades entre 0 e 25%.

As sub-bacias 9, 16, 17 33, 36 e 39 também se destacaram em relação ao aumento da vazão média anual. Ressalta-se que as sub-bacias com maior vazão encontram-se, principalmente, na bacia do lajeado São José.

### 7.3 PERDA DE SOLO

#### 7.3.1 Cenários reais

A perda de solo variou de 0,5 a 5,5 T/ha/ano no cenário 1989 (Figura 70), de 0,8 a 8,2T/ha/ano no cenário 1996 (Figura 71), de 0,4 a 6,6 T/ha/ano no cenário 2010 (Figura 72) e de 0,2 a 9,9 T/ha/ano no cenário 2015 (Figura 73).

No **cenário 1989** (Figura 70) as sub-bacias 17 e 30, ficaram com a menor taxa de perda de solo com 0,5T/ha/ano. A sub-bacia 17 tinha a maior área com mata nativa entre todas as sub-bacias em 1989, aproximadamente com 87% de sua cobertura, seguida de solo exposto. Esta sub-bacia caracteriza-se por ter o Latossolo Bruno e predomínio de declividades entre 0 e 5%. Enquanto a sub-bacia 30 tinha 1,30% de sua cobertura com mata nativa e quase 90% de edificações, na área urbana de Chapecó, prevalecendo declividades entre 0 e 15%. A sub-bacia encontra-se na bacia do lajeado São José e a sub-bacia 30, na bacia do lajeado Passo dos Índios.

A sub-bacia 2 teve a maior perda de solo com 5,5 T/ha/ano, encontrando-se em áreas de nascentes na bacia do lajeado São José, com declividades entre 0 e 45% e, em alguns trechos acima de 45%. O tipo de solo que predomina nessa sub-bacia é o Latossolo Vermelho. A sub-bacia 13 teve a segunda maior perda de solo com 5,0 T/ha/ano, com predomínio entre 0 e 45% de declividades e tendo o Nitossolo Vermelho. Essa sub-bacia faz parte da bacia do lajeado Passo dos Índios.

Nesse cenário, observa-se que as sub-bacias com maior perda de solo encontram-se nas proximidades do curso superior do lajeado São José. Na bacia do lajeado Passo dos Índios, as sub-bacias que tiveram maior perda de solo, possuem as principais nascentes do lajeado Bela Vista. As sub-bacias com menor perda de solo encontram-se na área urbana de Chapecó, que apresentaram maior escoamento superficial nos cenários reais e virtuais, com exceção da sub-bacia 17, que tinha mata nativa e solo exposto.

No **cenário 1996** (Figura 71) as sub-bacias 17 e 30 continuam com menor perda de solo, porém aumentou para 0,8 e 0,9T/ha/ano, respectivamente. Houve redução na vegetação florestal remanescente nas sub-bacias. Na sub-bacia 17 aumentou a área com solo exposto e pasto, enquanto na sub-bacia 30, o solo exposto e a mata nativa, foram substituídos por cultivo.

Com a substituição da mata nativa principalmente por cultivo, solo exposto e pasto, muitas sub-bacias tiveram aumento na perda de solo, com destaque novamente para as sub-bacias 13 e 2, com 7,4 e 8,2T/ha/ano. A redução de mata nativa foi praticamente de 17% na sub-bacia 2 e de 18% na sub-bacia 13.

Figura 70 – Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –1989

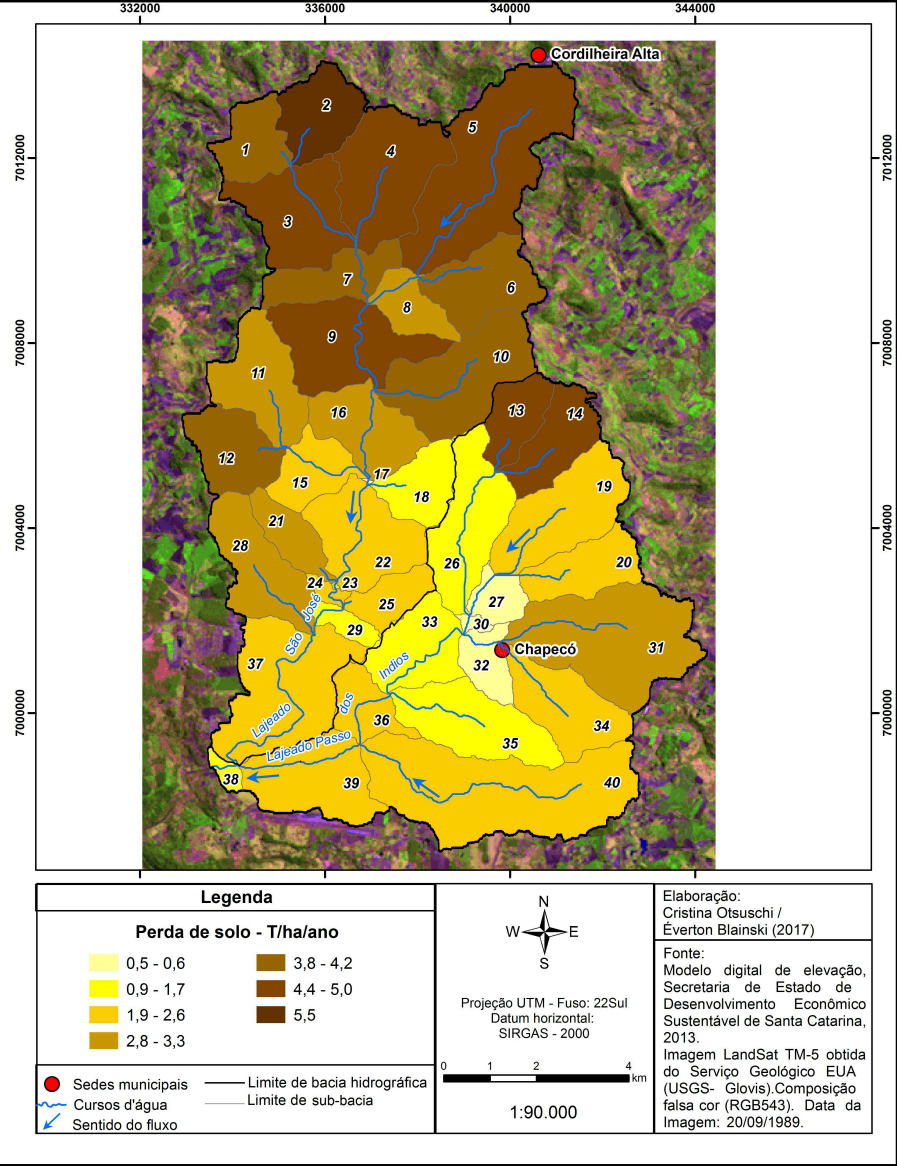


Figura 71 – Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –1996

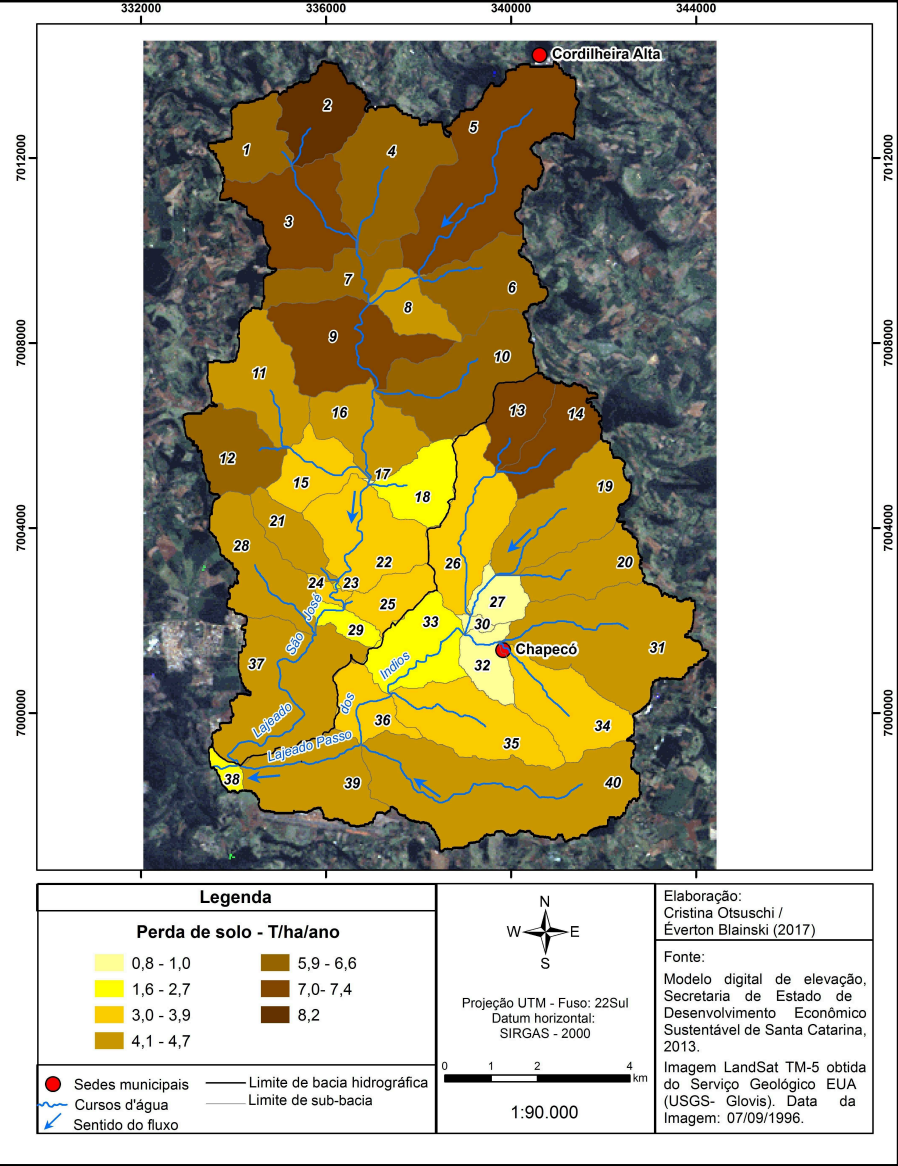


Figura 72 – Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –2010

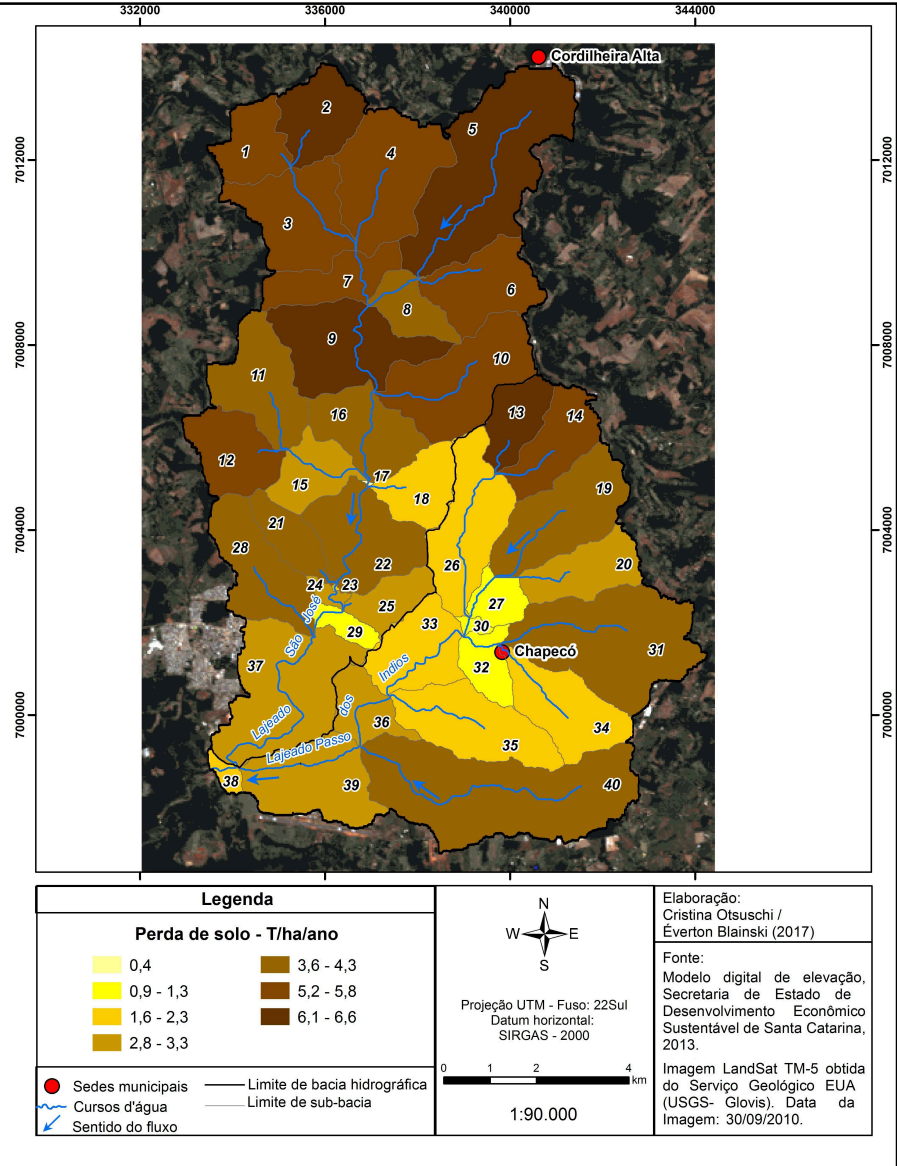
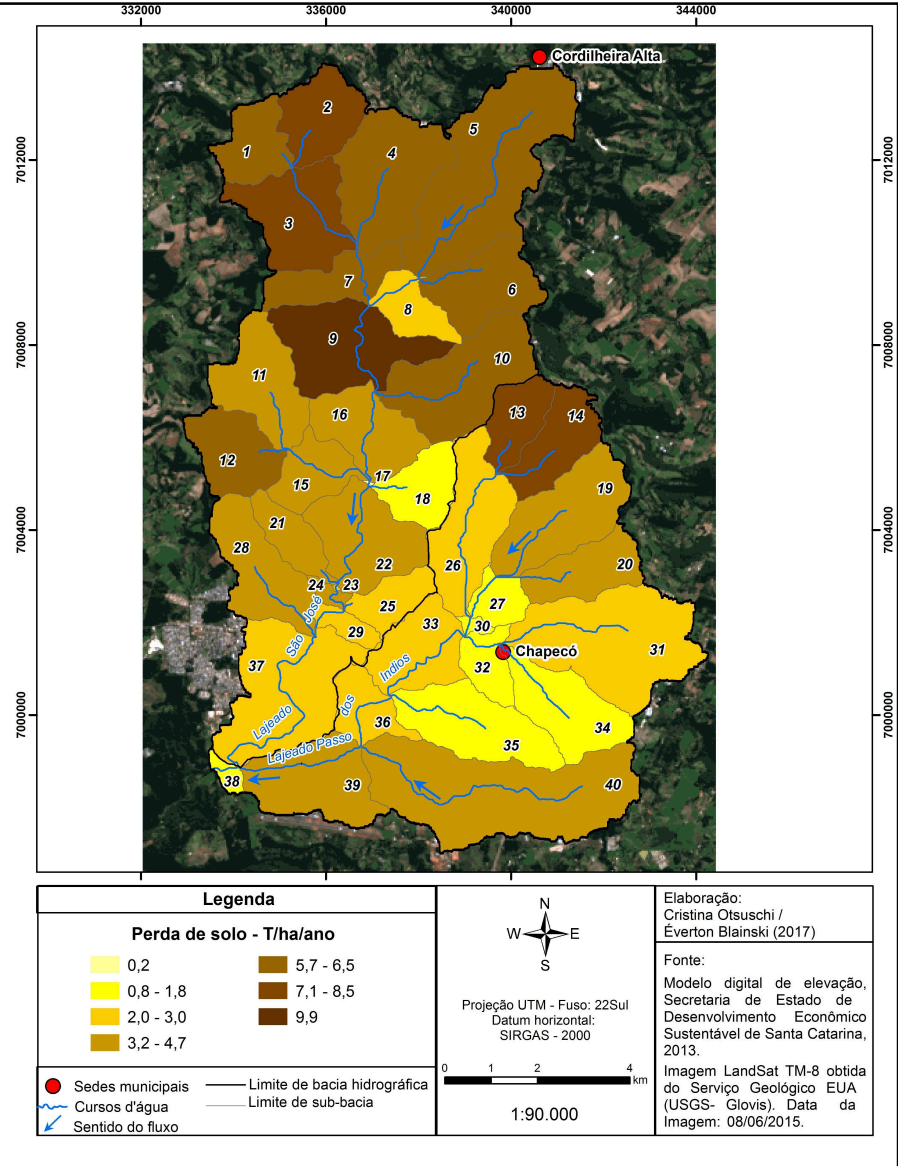


Figura 73 – Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário –2015





As sub-bacias com maior área de mata nativa foram 17 e 39, pertencendo às bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios, respectivamente. A sub-bacia 39 tinha 21,5% de mata nativa e apresentou perda de solo em 4,1T/ha/ano. Considera-se às atividades agrícolas, predomínio do Cambissolo Háplico, seguido de Latossolo Bruno e com destaque às declividades acima de 25%.

No **cenário 2010** (Figura 72) a menor perda de solo foi verificada na bacia do lajeado São José, com 0,4T/ha/ano, especificamente na sub-bacia 17. Na bacia do lajeado Passo dos Índios, a menor perda de solo foi estimada na sub-bacia 30, com 0,9 T/ha/ano, mantendo o mesmo valor em relação ao cenário 1996. Nessa sub-bacia teve redução de cultivo e aumento das edificações. A sub-bacia 17 reduziu a perda de solo pela metade em relação ao cenário 1996. Partes da mata nativa, do pasto e do solo exposto, foram substituídas por cultivo e silvicultura.

A maior perda de solo foi identificada na bacia do lajeado São José, com 6,6T/ha/ano na sub-bacia 9. Nesta sub-bacia, teve-se aumento de mata nativa, silvicultura e cultivo. Os tipos de uso que reduziram, foram: solo exposto, edificações e pastos. Predomina o Latossolo Vermelho e as declividades entre 5 e 25%. Esta sub-bacia encontra-se principalmente em altitudes entre 600 e 760m.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios, a sub-bacia 13 teve a maior perda de solo com 6,3T/ha/ano. Nessa sub-bacia houve a redução da mata nativa, pasto e com destaque para o solo exposto em 12,67%. A silvicultura aumentou, mas principalmente, a área de cultivo em quase 19%. Em relação ao cenário 1996, essa sub-bacia reduziu em 1,1T/ha/ano e a sub-bacia 9, em 0,6T/ha/ano, tendo destaque à redução de solo exposto nas duas sub-bacias.

As sub-bacias que se destacaram por terem mais mata nativa em 2010, foram a sub-bacia 17 com quase 41% e a sub-bacia 38 com 38,36%, respectivamente, bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios. A sub-bacia 17 teve a menor perda de solo no cenário 2010, enquanto a sub-bacia 38 teve 1,7T/ha/ano, diferença de 1,3T/ha/ano. Além da proporção de mata nativa, a sub-bacia 38 tinha 5,77% de pasto enquanto a sub-bacia 17 tinha 5,58% de silvicultura.

No **cenário 2015** (Figura 73) as sub-bacias 17 e 30 continuaram tendo a menor perda de solo entre as sub-bacias. A sub-bacia 17 perdeu 0,2T/ha/ano, reduzindo pela metade em relação ao cenário 2010. Verificou-se que houve aumento de mata nativa e área com pasto, não tendo os demais tipos de uso. A sub-



bacia 30 teve aumento na mata nativa, pasto, edificações e solo exposto. As edificações atingiram 97,1% da área desta sub-bacia do lajeado Passo dos Índios.

A maior perda de solo continuou com a sub-bacia 9, com 9,9T/ha/ano, tendo aumento de 3,3T/ha/ano em relação ao cenário 2010. As áreas com mata nativa, silvicultura e cultivo, tiveram redução. Os usos como solo exposto, edificações e pasto tiveram aumento significativo, substituindo principalmente, as áreas com cultivo.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios a maior perda de solo foi estimada para a sub-bacia 13, tendo aumento de 2,2T/ha/ano em relação ao cenário 2010. À princípio, houve aumento de mata nativa em 2015 nas bacias dos lajeados estudados, porém nas sub-bacias 9 e 13, houve decréscimo. O aumento ocorreu mais significativamente, com as áreas de solo exposto e de pasto.

As sub-bacias com maior área de mata nativa continuam com a 17 e a 38. Essa última sub-bacia teve aumento na mata nativa e na silvicultura com mais de 8%. Também tiveram aumento as edificações, o solo exposto com 9,9% e, com destaque para o pasto com 27%. Esses tipos de uso substituíram as áreas de cultivo. Com essas mudanças no uso da terra, a sub-bacia 38 teve 1,3T/ha/ano de perda de solo no cenário 2015, tendo redução de 0,4T/ha/ano.

A sub-bacia com menor área de mata nativa foi a 34 com 0,41% de sua cobertura. Essa sub-bacia encontra-se na bacia do lajeado Passo dos Índios, tendo quase 89% de edificações e o principal tipo de uso agrícola é o pasto. Essa sub-bacia perdeu 1,6T/ha/ano no cenário 2015, sendo 0,3T/ha/ano a menos de solo perdido em relação ao cenário 2010. Houve aumento de mata nativa, silvicultura e pasto, reduzindo principalmente as áreas de cultivo.

### 7.3.2 Cenários Virtuais

A perda de solo variou de 0,2 a 8,0T/ha/ano no cenário 2015 – APP (Figura 74), de 0,2 a 12,5T/ha/ano no cenário 2015 – Cultivo (Figura 75) e de 0,2 a 11,9T/ha/ano no cenário 2015 – Edificações (Figura 76).

No **cenário 2015 – APP** (Figura 74) verificou-se a menor perda de solo na sub-bacia 17 com 0,2T/ha/ano. Como não teve mudança no uso da terra, ou seja, não aumentou a área com mata, a perda de solo foi a mesma do cenário 2015. A

menor perda de solo da bacia do lajeado Passo dos Índios foi na sub-bacia 27, com 0,7T/ha/ano sendo a segunda menor perda de solo na área de estudo. Essa sub-bacia teria aumento de quase 4,5% de mata nativa e redução de área de cultivo e edificações. Com a simulação de Áreas de Preservação Permanente teria redução de 0,1T/ha/ano em relação ao cenário 2015.

A sub-bacia 9 continuaria com a maior perda de solo, porém com redução de 1,9T/ha/ano em relação ao cenário 2015. Essa sub-bacia teria 9,85% a mais de mata nativa, substituindo as áreas de cultivo, edificações e pastos.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios a maior perda de solo foi estimada para a sub-bacia 13, com 6,9T/ha/ano. Ressalta-se que essa sub-bacia perdeu 1,6T/ha/ano a menos de solo, em relação ao cenário 2015. A presença da cobertura florestal contribuiria para essa redução, considerando que houve aumento da mata nativa em 9,91% e redução dos demais tipos de uso da terra.

Para a sub-bacia 17 não se teria aumento de mata nativa, permanecendo com 56,75% desse tipo de uso da terra, mas seria considerada como a maior área de cobertura florestal nativa. A sub-bacia 38 continuaria tendo mais mata nativa na bacia do lajeado Passo dos Índios, agora com 12,77% a mais, reduzindo principalmente, solo exposto, cultivo e edificações. Dessa forma, teria decréscimo na perda de solo em 0,5T/ha/ano.

No **cenário 2015- Cultivo** (Figura 75) a sub-bacia 17 teria a menor perda de solo, mantendo 0,2 T/ha/ano, considerando que não houve mudança no uso da terra. A sub-bacia 30 continuaria com a segunda menor perda de solo, porém teria aumento de 0,2 T/ha/ano. Ressalta-se que a mata nativa seria totalmente substituída por cultivo.

A redução de mata nativa em 1,58% contribuiu para que a sub-bacia 9 continuasse tendo a maior perda de solo, aumentando em 2,6T/ha/ano em relação ao cenário 2015. Outra sub-bacia que se destaca pela perda de solo, é a sub-bacia 13 do lajeado Passo dos Índios. Com a redução de 3,72% da mata nativa e aumento da área de cultivo, essa sub-bacia teve aumento de 2,4T/ha/ano em relação ao cenário 2015.

A sub-bacia 38 teria 0,46% de mata nativa sendo substituída por cultivo, mas ainda seria a sub-bacia com mais cobertura florestal nativa na bacia do lajeado Passo dos Índios. Esta sub-bacia teria 0,3T/ha/ano a mais de perda de solo, mas estaria entre as sub-bacias com menos perda de solo.

No **cenário 2015 – Edificações** (Figura 76) a perda de solo foi menor em relação ao cenário 2015 – Cultivo (Figura 77). A sub-bacia 17 perdeu 0,2T/ha/ano de solo, não mudando em relação ao cenário 2015, considerando que não houve mudança no uso da terra.

A sub-bacia 30 apresentaria menor perda de solo na bacia do lajeado Passo dos Índios. Ao substituir 1,68% de mata nativa por cultivo, aumentaria 0,2T/ha/ano na perda de solo, enquanto a substituição por edificações resultou no aumento de 0,1T/ha/ano de perda de solo em relação ao cenário 2015.

A maior perda de solo foi estimada na sub-bacia 9, com aumento de 2T/ha/ano ao substituir 1,58% de mata nativa por edificações. Essa sub-bacia teria maior perda de solo em relação à sub-bacia 30, considerando ter nessa sub-bacia 40% da área com solo exposto, enquanto na sub-bacia 30, seria de 0,44% com este tipo de uso da terra e 99% de sua área, seriam de edificações.

A sub-bacia 38 teria a maior área com mata nativa na bacia do lajeado Passo dos Índios, com 45,57% de cobertura e é, uma das sub-bacias com menor perda de solo. Com a simulação do acréscimo de edificações, essa sub-bacia teria aumento de 0,3T/ha/ano na perda de solo em relação ao cenário 2015. A sub-bacia 37 mesmo tendo a maior área de mata nativa entre as sub-bacias, não teve alteração no uso da terra com a simulação da substituição de fragmentos da mata nativa remanescente por edificações, não mudando o resultado sobre perda de solo.

A seguir, apresenta-se a comparação dos dados de perda de solo por sub-bacia (Tabela 18), para mostrar as variações nos diferentes cenários reais e virtuais, conforme as mudanças no uso da terra, ressaltando a relação entre cobertura florestal nativa e a perda de solo

Constatou-se que a perda de solo no cenário 1989 foi menor em todas as sub-bacias ao ser comparada com o cenário 1996. O aumento na perda de solo no cenário 1996 deve-se também, pela redução de 11,92% de mata nativa na bacia do lajeado São José e de 4,44% na bacia do lajeado Passo dos Índios. Com a retirada da cobertura florestal e a substituição por outros tipos de uso, como cultivo, pastos, solo exposto e edificações, pode desencadear processos erosivos, resultando na perda de solo.



Figura 74 – Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – APP

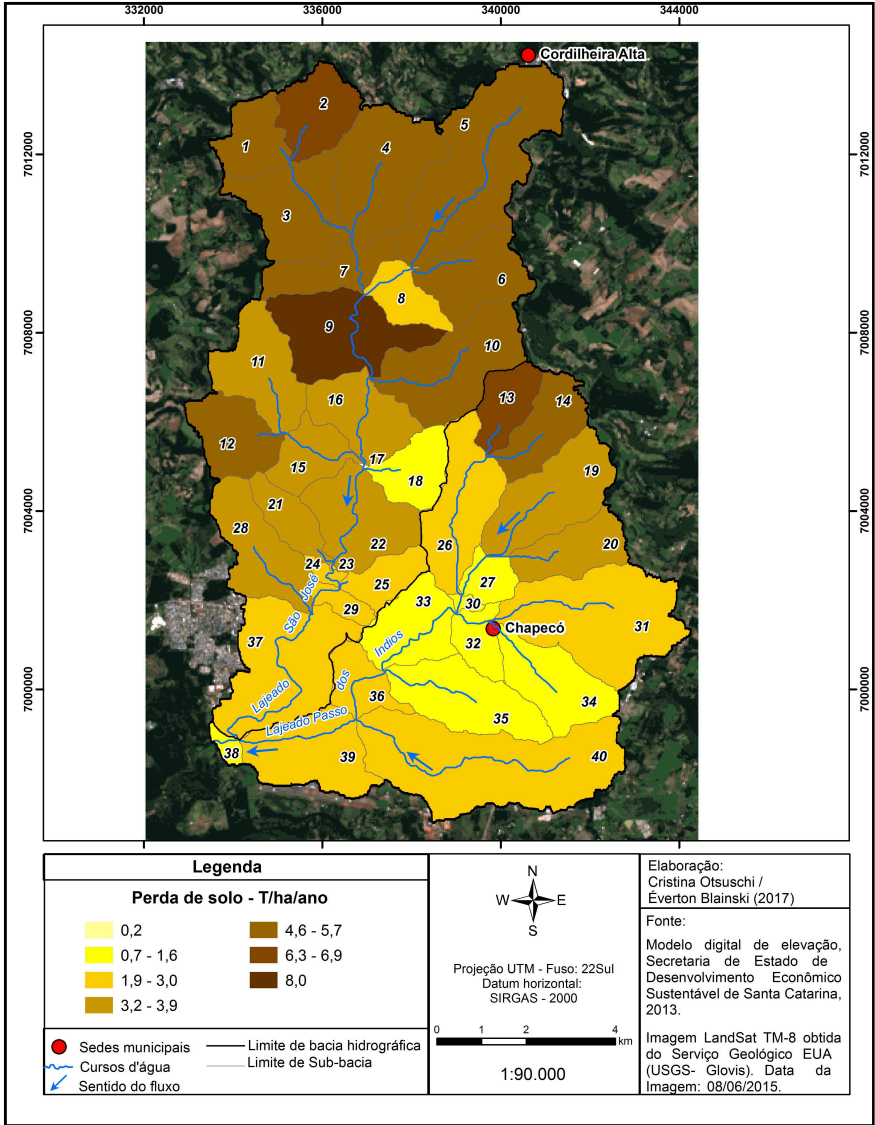


Figura 75 – Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 - Cultivo

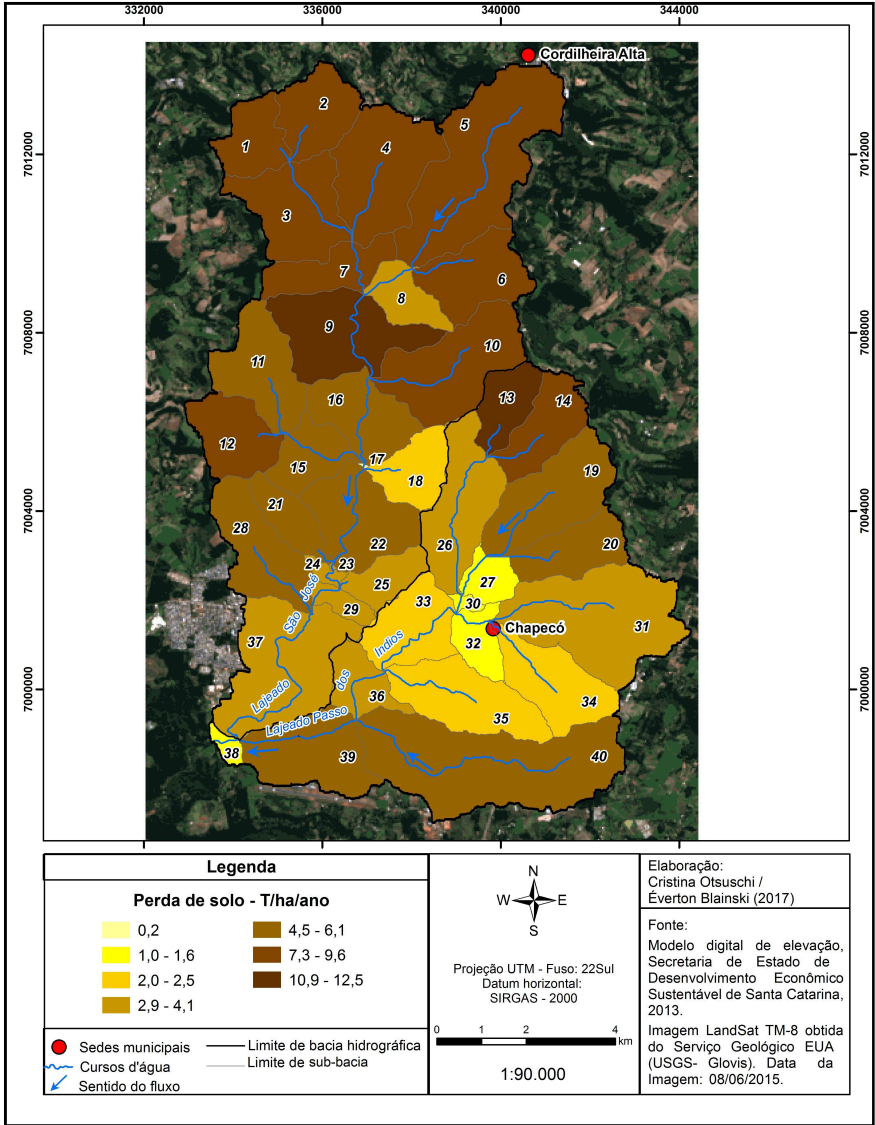


Figura 76 – Perda de solo (T/ha/ano) nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no cenário 2015 – Edificações

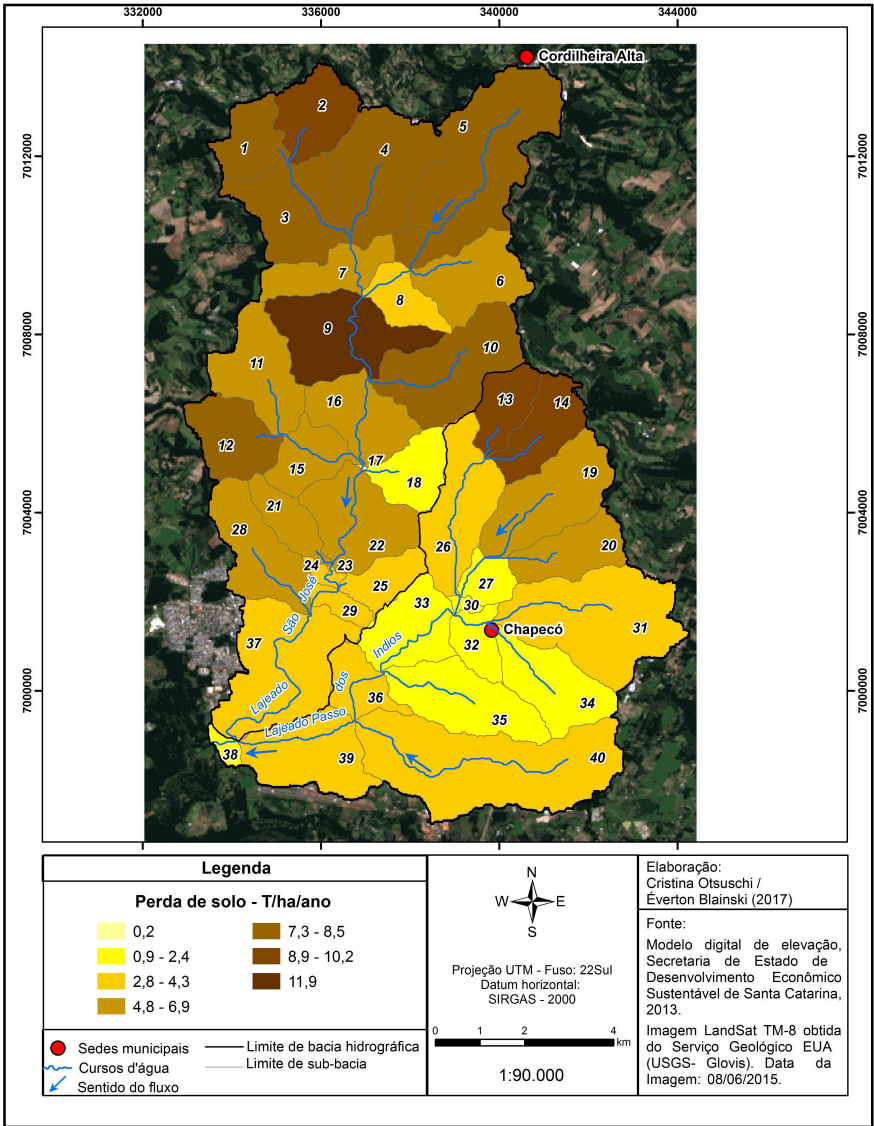
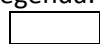




Tabela 18 – Perda de solo (T/ha/ano) entre 1989 e 2015 nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios

CENÁRIOS REAIS						CENÁRIOS VIRTUAIS		
	Sub-bacias	1989	1996	2010	2015	2015 APP	2015 Cultivo	2015 Edificações
Bacia do Lajeado São José	1	4.2	6.5	5.7	6.4	5.0	8.3	7.7
	2	5.5	8.2	6.1	7.4	6.3	9.6	8.9
	3	4.5	7.0	5.8	7.1	5.6	9.0	8.5
	4	4.4	6.6	5.6	6.1	5.0	7.8	7.3
	5	4.7	7.2	6.5	6.5	5.3	8.3	7.8
	6	3.9	6.0	5.8	5.7	4.6	7.3	6.9
	7	3.8	5.9	5.5	5.7	4.7	7.5	6.9
	8	2.9	4.5	3.6	2.7	2.1	3.5	3.3
	9	4.7	7.2	6.6	9.9	8.0	12.5	11.9
	10	4.2	6.5	5.4	6.2	5.1	7.8	7.5
	11	2.8	4.4	4.1	4.7	3.9	6.1	5.7
	12	4.0	6.1	5.2	6.2	5.2	8.0	7.5
	15	1.9	3.4	3.2	4.0	3.3	5.0	4.8
	16	2.9	4.2	4.2	4.2	3.3	5.4	5.1
	17	0.5	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
	18	1.4	2.7	2.2	1.6	1.4	2.1	2.0
	21	3.1	4.7	4.1	4.1	3.4	5.2	4.9
	22	1.9	3.1	3.6	4.3	3.6	5.5	5.2
	23	1.6	2.5	1.6	2.8	2.4	3.8	3.5
24	1.9	3.1	2.8	3.2	2.5	4.1	3.9	
25	2.5	3.9	3.3	3.0	2.3	4.0	3.7	
28	2.8	4.3	4.3	4.0	3.2	5.1	4.8	
29	0.9	1.6	1.3	2.3	2.0	2.9	2.8	
37	2.6	4.1	3.1	2.6	2.0	3.4	3.2	
Bacia o Lajeado Passo dos Índios	13	5.0	7.4	6.3	8.5	6.9	10.9	10.2
	14	4.8	7.0	5.4	7.6	5.7	9.6	9.1
	19	2.4	4.3	3.7	4.5	3.8	5.7	5.4
	20	2.5	4.1	3.2	4.1	3.5	5.2	4.9
	26	1.5	3.1	2.3	2.5	2.1	3.2	3.1
	27	0.6	1.0	1.0	0.8	0.7	1.1	1.0
	30	0.5	0.9	0.9	0.8	0.8	1.0	0.9
	31	3.3	4.7	4.0	2.4	2.1	3.0	2.8
	32	0.6	1.0	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0
	33	1.3	2.1	2.1	2.0	1.6	2.5	2.4
	34	1.9	3.1	1.9	1.6	1.4	2.0	1.9
	35	1.7	3.0	2.3	1.8	1.5	2.3	2.1
	36	2.2	3.3	2.8	2.4	1.9	3.1	2.9
	38	1.3	2.2	1.7	1.3	0.8	1.6	1.6
	39	2.6	4.1	3.3	3.5	2.8	4.5	4.2
	40	2.6	4.7	3.9	3.6	3.0	4.5	4.3

Legenda:



Controle



Sem alteração



Redução



Ampliação

Fonte: (Modelagem SWAT). Elaboração: Éverton Blainski e Cristina Otsuschi, 2017.

No cenário 2010 verificou-se a redução da perda de solo na maioria das sub-bacias. As sub-bacias: 16, 22 e 28 na bacia do lajeado São José; 27, 30, 32 e 33 na bacia do lajeado Passo dos Índios, permaneceram com o mesmo valor na perda de solo do cenário 1996.

Houve aumento de 0,5T/ha/ano na perda de solo da sub-bacia 22 em relação ao cenário 1996. Nesta sub-bacia houve redução da mata nativa, com destaque para o pasto com 16,57% de sua área. Porém, teve aumento em 5,48% de solo exposto, em 3,53% de cultivo e em 9,24% de edificações.

No cenário 2015 as sub-bacias que reduziram a perda de solo: 6, 8, 17, 18, 25, 28 e 37, na bacia do lajeado São José; 27, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38 e 40, na bacia do lajeado Passo dos Índios. Verificou-se a redução de solo exposto e de culturas anuais e aumento de pasto, edificações e de cobertura florestal nativa.

As sub-bacias que ampliaram a perda de solo foram: 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 22, 23, 24 e 29, na bacia do lajeado São José; 13, 14, 19, 20, 26 e 39, na bacia do lajeado Passo dos Índios. As sub-bacias com maior aumento na perda de solo, em relação ao cenário 2010, encontram-se principalmente no curso superior do lajeado São José. A sub-bacia 9 teve a maior perda de solo no cenário 2015, tendo aumento no solo exposto em 34,51% de sua área. Ressalta-se que poderia ser período de transição/preparo do solo para o cultivo. As demais sub-bacias não tiveram mudança na perda de solo.

Em relação aos cenários virtuais, teria redução na perda de solo na maioria das sub-bacias no cenário APP, com exceção das seguintes sub-bacias: 17, 30 e 32, não tendo alteração na perda de solo. Na sub-bacia 17 não houve mudança no uso da terra. Na sub-bacia 30 a mudança significativa refere-se à redução das edificações e aumento na cobertura florestal nativa. Na sub-bacia 32 teve aumento da mata nativa e das edificações, com a redução do cultivo.

No cenário 2015 – Cultivo verificou-se que em todas as sub-bacias teria aumento na perda de solo, com exceção da sub-bacia 17 que não teve alteração na perda de solo e nos tipos de uso da terra.

Também teria aumento de perda de solo no cenário 2015 – Edificações em todas as sub-bacias. Vale mencionar que a perda de solo no cenário 2015 – Cultivo é maior em relação ao cenário 2015 – Edificações.

As sub-bacias que se destacam com maior perda de solo entre os cenários na bacia do lajeado São José são 2, 3, 5 e 9. Em seguida são as sub-bacias 1, 4, 6, 7, 10 e 12. Houve o predomínio do Latossolo Vermelho nessas sub-bacias, tendo a ocorrência em menor proporção de Cambissolo Háplico, Nitossolo Vermelho e

Latossolo Bruno. Nessas sub-bacias as declividades variam principalmente entre 15 e 45%.

Na bacia do lajeado Passo dos Índios as sub-bacias 13 e 14 tiveram contribuição significativa na perda de solo. Outras sub-bacias que se destacaram foram: 19, 20, 39 e 40. Essas sub-bacias encontram-se em áreas de ocorrência, principalmente de Nitossolo Vermelho seguido de Latossolo Bruno. As declividades que predominam nas sub-bacias 13, 14, 19 e 20 variam entre 5 e 25% .

A comparação de mata nativa e perda de solo entre os cenários 2015 e os simulados com Áreas de Preservação Permanente, Cultivos e Edificações ressaltaram a importância da manutenção e ampliação da cobertura florestal para manter a função ambiental na proteção dos solos. Com a presença da mata nativa minimizariam os processos erosivos, a perda de solo, o assoreamento dos cursos d' água entre outros problemas ambientais.

Silva, Schulz e Camargo (2004) ponderam que geralmente, a erosão e transporte de sedimentos ocorrem nas áreas mais elevadas de uma bacia hidrográfica. A maioria das sub-bacias que se destacou com taxas mais elevadas de perda de solo, encontra-se entre 680 e 820m (Figura 21).

Moro (2005) comenta que geralmente, as áreas mais elevadas de uma bacia hidrográfica, coincidem com a ocorrência de declividades maiores. Essas características propiciariam os processos de erosão e de transporte nas encostas. Nas sub-bacias com maior perda de solo, as declividades predominantes caracterizam áreas mais íngremes, principalmente na bacia do lajeado São José.

A autora também associa as áreas elevadas com a maior possibilidade da ocorrência de chuvas mais intensas, em que se teria maior perda de solo. Essa relação do relevo com a ocorrência de chuvas foi destacada por Monteiro (2001), ao comentar sobre a quantidade de chuva ser maior nas áreas de encostas de serras ao comparar com as áreas próximas do vale do rio Uruguai.

Verificou-se, assim como Prado (2005), que a presença de cobertura florestal substituindo pasto, contribui com maior infiltração da água no solo, reduzindo a perda de solo e o escoamento superficial. Machado (2002) ainda resalta a importância da mata nativa na redução de perda de solo, pois dependendo da localização em que se encontra, principalmente, em áreas mais íngremes pode contribuir na redução da velocidade do escoamento superficial, assim como da perda de solo. O autor ainda destaca que a cobertura florestal nas proximidades de

outros tipos de cultivo, pode a diminuir a velocidade do escoamento superficial, minimizando os impactos com a erosão e perda de solo.

Algumas sub-bacias do lajeado São José que tiveram maior perda de solo, encontram-se nas áreas mais elevadas e mais íngremes no curso superior. Ressalta-se que nessa bacia hidrográfica foram aprovados loteamentos, em que a falta de infraestrutura de micro e macrodrenagem, aumenta a possibilidade de perda de solo (MARTINS, 1995).

As sub-bacias do lajeado Passo dos Índios tiveram destaque para o escoamento superficial. Conforme ampliavam as áreas com edificações, aumentava a estimativa do escoamento superficial. Bigarella e Mazuchowski (1985) destacam que as construções aumentam a impermeabilização e o escoamento concentrado superficial.

A simulação de cenários pode ser uma importante ferramenta para auxiliar nas decisões de gestão, considerando as características fisiográficas, econômicas e ambientais.

#### 7.4 CENÁRIOS AMBIENTAIS E O PLANEJAMENTO AMBIENTAL

A simulação de cenários ambientais possibilitou integrar diversos elementos fisiográficos, econômicos, sociais e ambientais nas bacias hidrográficas dos lajeados São José e Passo dos Índios. A bacia hidrográfica foi considerada um sistema com processos hidrossedimentológicos que considera fatores climáticos, topográficos, edáficos, pedológicos e antrópicos.

Dessa forma, o uso da terra foi a variável importante para obter informações sobre escoamento superficial, vazão e perda de solo. Com a mudança de uso da terra e a simulação de cenários foi possível representar as dinâmicas hídricas e de sedimentos que ocorrem nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios. As respostas de vazão, escoamento superficial e perda de solo em ambientes natural e construído, através do uso da terra, evidenciaram a importância da mata nativa para as funções e serviços ambientais.

A fragmentação da mata nativa torna os ambientes mais frágeis ambientalmente, pois isola os fragmentos comprometendo suas funções ambientais

e sociais. Dependendo da interferência antrópica esses fragmentos de vegetação ficam descaracterizados e há pressão para retirá-los visando substituir por outros usos. Em relação à conservação da mata nativa Otsuschi, Bocalon e Alba (2016) ressaltam que muitas vezes a vegetação é considerada um impedimento para o desenvolvimento econômico, pois falta o conhecimento das contribuições ambientais, sociais e econômicas das áreas com mata nativa.

Além do aumento do escoamento superficial, da vazão e da perda de solo, a fragmentação excessiva da vegetação pode desencadear problemas ambientais, como inundações, processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água. Considerar a importância das funções ambientais da mata nativa nas atividades econômicas e no processo de ocupação e expansão urbana é fundamental para o planejamento ambiental na área de estudo.

Assim como é importante considerar elementos e processos do meio físico que ao interagir com as dinâmicas sociais e econômicas, podem resultar em problemas ambientais que, se fossem consideradas no processo de planejamento ambiental, as ações e intervenções contribuiriam para manter as funções ambientais.

A identificação de problemas ambientais é uma importante etapa do planejamento ambiental. Considerar causas e consequências, a localização onde ocorrem e as características fisiográficas, possibilitam compreender a dinâmica da natureza com as intervenções antrópicas. Nessa perspectiva, a estimativa de perda de solo, vazão e escoamento superficial através de simulação de cenários ambientais pode auxiliar com subsídios para o planejamento ambiental de áreas de lazer, integração de parques e nas atividades econômicas, pois a captação de água para Chapecó é realizada na bacia do lajeado São José.

Como Chapecó é uma das cidades que vem aumentando a população nas últimas décadas (MATIELLO et al., 2016), o crescimento urbano em direção à bacia do lajeado São José deve ser planejado para não comprometer as funções ambientais da cobertura florestal nativa, e desencadear problemas ambientais. Com a concentração populacional, aumenta a área impermeabilizada e o escoamento superficial.

A velocidade e a força do escoamento superficial podem desencadear processos erosivos, principalmente na bacia do lajeado São José. Como as restrições de uso e ocupação dessa bacia hidrográfica vêm sendo modificadas nos

planos diretores de Chapecó, é importante tentar prever os impactos que as mudanças no uso da terra podem desencadear. Com a simulação de cenários ambientais pode-se visualizar a distribuição espacial da perda de solo, vazão média anual e escoamento superficial, conforme as mudanças no uso da terra, sendo uma importante ferramenta na escolha de atividades em uma bacia hidrográfica.



## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mata nativa possui funções relevantes para manter a estabilidade ambiental e com a redução em fragmentos menores, dependendo do tamanho ou do isolamento das áreas de mata nativa, essas funções, podem ficar comprometidas e aumentam as chances da substituição da vegetação por outros tipos de uso da terra. Funções ambientais como escoamento superficial, vazão e perda de solo foram bons indicativos para fazer relação com a cobertura florestal nativa remanescente e com os problemas ambientais nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios.

A área de estudo inicialmente escolhida foi a bacia do lajeado São José por predominar propriedades rurais e ter dados medidos em campo e em laboratório de nível do rio, vazão e concentração de sedimentos, assim como os dados climáticos. Para efeitos de comparação foi escolhida a bacia do lajeado Passo dos Índios por ser considerada uma bacia urbanizada e com poucos fragmentos da mata nativa remanescente, ao contrário da bacia do lajeado São José, que também é área de captação de água para abastecimento para Chapecó e a tendência é aumentar a ocupação nessa bacia hidrográfica.

Para a realização da pesquisa foram seguidos os pressupostos da proposta metodológica de Libault (1971). A bacia hidrográfica foi definida como unidade de estudo para pesquisar os processos hidrossedimentológicos conforme o uso da terra, por considerar as características fisiográficas, as interferências antrópicas e a dinâmica ambiental.

O uso do modelo SWAT possibilitou simular cenários ambientais para mostrar quais sub-bacias, estariam mais vulneráveis com a redução da vegetação florestal nativa. Uma limitação deste modelo foi verificada em relação à identificação dos tipos de uso da terra, mesmo realizando buffer de 30m nos mapas de uso da terra, o modelo não totalizou a soma dos tipos de uso da terra em 100%. A quantidade de dados gerada pelo SWAT é outra questão a ser enfatizada.

Em relação ao objetivo “Correlacionar os efeitos hidrológicos e a perda de solo com as mudanças na cobertura florestal nativa e no uso da terra entre 1989 e 2015”, foi importante conhecer a evolução do uso da terra no período estudado, para compreender as mudanças no escoamento superficial, na vazão e na perda de solo. Ressalta-se que a mata nativa foi a referência principal na correlação entre os efeitos hidrológicos e na perda de solo. Verificou-se que geralmente onde o índice

de mata nativa é mais elevado, menor é o volume de vazão, escoamento superficial e perda de solo.

O uso da terra em 1989 sinalizou maior presença de mata nativa entre todos os anos. A bacia do lajeado São José destacou-se com solo exposto, pasto e silvicultura, além da mata nativa. A bacia do lajeado Passo dos Índios tinha mais áreas com edificações em relação à outra bacia hidrográfica. O cultivo predominou nas duas bacias hidrográficas, praticamente com a mesma proporção.

Em 1996 a mata nativa reduziu em mais de 16%, sendo substituída por pasto, solo exposto e edificações. Em 2010 constataram-se o aumento na silvicultura, culturas anuais e principalmente, nas edificações. Em 2015 aumentaram os seguintes tipos de uso: mata nativa, pasto, solo exposto e com destaque para as edificações.

Com a simulação substituindo os fragmentos de mata nativa menores a 1 hectare por cultivo ou por edificações, evidenciou-se que o processo de fragmentação tanto reduziu o tamanho dos fragmentos, quanto aumentou a distância entre esses fragmentos. Com o isolamento das áreas florestais por outros tipos de uso, a tendência é a redução ou a supressão dessas áreas. Dessa forma, as funções ambientais da cobertura florestal nativa ficam ainda mais comprometidas. Nesse sentido, é importante proteger e ampliar a mata nativa.

Com o objetivo “Comparar a contribuição dos remanescentes florestais na diminuição do escoamento superficial, vazão e perda de solos entre as bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios”, pode-se afirmar que a bacia do lajeado São José teve destaque para as sub-bacias com maior taxa de perda de solo em toneladas por hectare anual. Enquanto a bacia do lajeado Passo dos Índios apresentou sub-bacias com maiores taxas de escoamento superficial, correspondendo às áreas com edificações concentradas, como o centro da cidade de Chapecó.

Algumas sub-bacias com presença de rochas com diaclases possuem canais mais profundos e os vales encaixados, apresentando maior vazão. A sub-bacia com a maior vazão média anual pertence à bacia hidrográfica do lajeado Passo dos Índios, porém, a bacia do lajeado São José apresentou quantidade superior de sub-bacias com volume elevado na vazão média anual.

Para atingir o objetivo “Fazer simulações de cenários ambientais para contribuir com o planejamento ambiental”, foi realizada a simulação do escoamento superficial, da vazão e da perda de solo nos cenários 1989, 1996, 2010, 2015, 2015 – APP, 2015 – Cultivo e 2015 – Edificações, tendo como variável o uso da terra. Mesmo considerando a média da precipitação, do escoamento superficial, da vazão e da perda de solo entre 1989 e 2015, foi possível fazer uma relação com o uso da terra, o tipo de solo, as declividades e os problemas ambientais.

Em relação ao escoamento superficial verificou-se que, geralmente quando se tem mais mata nativa, o escoamento é menor. No cenário 1996 houve redução significativa da cobertura florestal nativa, contribuindo com o aumento do escoamento superficial em algumas sub-bacias, principalmente na bacia do lajeado São José. Nas sub-bacias em que não houve redução expressiva da vegetação nativa, mas teve-se decréscimo de solo exposto, o aumento no escoamento superficial foi pouco ou reduziu. No cenário 2010 houve aumento no escoamento superficial com a ampliação de áreas com cultivo e, principalmente de edificações nas sub-bacias do lajeado Passo dos Índios que contemplam a área urbana de Chapecó.

No cenário 2015 houve aumento do escoamento superficial, mesmo com aumento da mata nativa. Ressalta-se que edificações, pasto e solo exposto também tiveram acréscimo. Com a simulação de Áreas de Preservação Permanente houve redução no escoamento superficial, principalmente na bacia do lajeado Passo dos Índios. No cenário 2015 – Cultivo não houve diferença no escoamento superficial em relação ao cenário 2015

Porém, comparando o cenário 2015 – Edificações com o cenário 2015 houve alterações significativas, em que o maior aumento foi na bacia do lajeado São José. As sub-bacias com maior escoamento superficial encontram-se na bacia do lajeado Passo dos Índios, tendo menor taxa de mata nativa e mais edificações/ocupação urbana. Esses resultados reforçam a necessidade no planejamento das atividades econômicas e da forma de ocupação nessas bacias hidrográficas.

A vazão média anual foi menor no cenário 1989 tendo a maior taxa de mata nativa entre os demais cenários. No cenário 1996 houve redução da vegetação nativa e aumento da vazão média anual, enquanto no cenário 2010 o aumento da vazão média anual na bacia do lajeado Passo dos Índios foi de  $0,02\text{m}^3/\text{s}$  e na bacia do lajeado São José reduziu em  $0,01\text{m}^3/\text{s}$ .

No cenário 2015 apesar da ampliação da mata nativa, foi acompanhada por edificações, pasto e solo exposto, resultando no aumento da vazão média anual. Comparando esse cenário com os cenários simulados com APP, cultivo e edificações, verificou-se o aumento da vazão média anual no cenário – Edificações. As sub-bacias com maior vazão encontram-se na bacia do lajeado São José.

A relação perda de solo e cobertura florestal evidenciou que em sub-bacias com maior área de mata nativa, foi menor a perda de solo desde que não tenha outro tipo de uso da terra que favoreça a produção de sedimentos. No cenário 1989 a perda de solo foi menor considerando o índice de cobertura florestal. No cenário 1996 a perda de solo foi maior na bacia do lajeado São José, tendo redução da mata nativa. No cenário 2010 houve redução na perda de solo com aumento de 0,75% de mata, porém ressalta-se que diminuíram solo exposto e pasto.

Constatou-se que a taxa de perda de solo foi maior na bacia do lajeado São José nos cenários 2015, 2015 – Edificações e principalmente 2015 – Cultivo. Com a simulação de Áreas de Preservação Permanente houve redução de perda de solo, com destaque à bacia do lajeado São José. As sub-bacias mais vulneráveis em relação à perda de solo e mata nativa encontram-se na bacia do lajeado São José.

A simulação de cenários ambientais mostrou-se uma importante ferramenta para auxiliar na análise espacial, contribuir nas tomadas de decisão e no planejamento ambiental. Algumas sub-bacias com taxas elevadas de escoamento superficial têm sérios problemas com enchentes, inundações e assoreamentos, tendo impacto maior por ser área impermeabilizada. Como há uma tendência no aumento de atividades relacionadas ao gado leiteiro em Chapecó, as respostas de perda de solo, vazão e escoamento superficial são importantes indicativos no planejamento da ampliação de pastos, de outras atividades e usos da terra.

Ressalta-se que trabalhar com modelos hidrológicos foi uma tentativa de “reproduzir” situações baseadas em características “reais”. Nesse estudo optou-se em fazer média de dados climáticos, de vazão, de escoamento superficial e de perda de solo para simular cenários ambientais, mas sabe-se que na natureza a dinâmica é diferente. Essa opção foi necessária para evidenciar que as mudanças no uso da terra resultam em respostas diferentes em relação às funções ambientais, sem interferência dos dados climáticos.

Destaca-se que foi utilizado mapa de solo disponível em que a escala não permite detalhamento dos tipos de solo. Se tivessem dados de mais estações meteorológicas, os resultados poderiam ser mais precisos ainda.

Para o objetivo “Compreender os efeitos hidrológicos e na perda de solo com as alterações na cobertura florestal nativa nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios”, foi possível simular satisfatoriamente cenários ambientais com estimativas de vazão média anual, escoamento superficial e perda de solo, de acordo com as interferências antrópicas na mata nativa entre 1989 e 2015.

Verificou-se que as funções ambientais são alteradas com a redução da mata nativa e com o distanciamento entre os fragmentos. Dessa forma, é importante proteger a mata nativa e viabilizar a reconexão entre as áreas florestais, para que os fragmentos menores não fiquem descaracterizados e sejam conservados.

Espera-se que a vegetação florestal nativa não seja considerada empecilho para o crescimento econômico, mas que suas funções ambientais sejam valorizadas no processo de desenvolvimento local e regional. Ter as Áreas de Preservação Permanente não é somente uma questão de cumprir a legislação ambiental ou o plano diretor.

O desmatamento da mata ciliar, o despejo de resíduos residenciais ou industriais e a canalização de trechos dos cursos d'água vão potencializar os problemas ambientais, sociais e econômicos. Valorizar os cursos d'água como ambientes sociais é uma possibilidade de melhorar a qualidade de vida da população e respeitar a dinâmica da natureza.

Com a simulação de cenários os resultados poderão auxiliar como subsídios para o planejamento ambiental, como o de parques com mata nativa para lazer. Recomenda-se a realização de outros estudos para tentar aumentar a conectividade entre os fragmentos, ou para conectar os parques com mata nativa associando o deslocamento com vias que valorizem os cursos d'água e o acesso às atividades econômicas. Destaca-se a importância em fortalecer os projetos em desenvolvimento que protegem os recursos naturais.

Um desafio, principalmente na Geografia, é ampliar o uso de modelos hidrológicos, como o SWAT, para auxiliar no planejamento territorial e ambiental. Com o aumento populacional a simulação de cenários é uma ferramenta de planejamento, desde para a ocupação considerando o crescimento da cidade,

quanto para planejar as atividades econômicas e os tipos de usos da terra em bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS

ALBA, Rosa Salete. **Espaço urbano**. 2. ed. Chapecó: Argos, 2013.

ALBA, Rosa Salete et al. Dinâmica populacional no oeste catarinense: indicadores de crescimento populacional dos maiores municípios. In: BRANDT, Marlon; NASCIMENTO, Ederson (org). **Oeste de Santa Catarina: território, ambiente e paisagem**. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015. p. 41 - 69

AMORIM, Margarete Cristiane de C. T.. O processo de urbanização e a degradação ambiental. **Caderno Prudentino de Geografia: Geografia, Crítica e Modernidade**. Presidente Prudente. n. 16, p.94 -114, 1994.

ANDRADE, Márcio A.; MELLO, Carlos R. de; BESKOW, Samuel. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.1, p.69–76, 2013, Campina Grande. Disponível em:<<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 17 dez. 2014.

ARAÚJO, Gustavo Henrique de Sousa; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

ARAÚJO, Lilian Alves de. Danos ambientais na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Impactos urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 347 – 403.

ARNOLD, J.G. et al. **Soil and water assessment tool input/output file. Documentation: Version 2012**. Texas Water Resources Institute, 2012.

BAGNOLD, R.A. *Bed load transport by natural rivers*. **Water resources researc**. v. 13, n. 1, p. 303-312, 1977.

BALDISSERA, Gisele Cristina. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. 2005. 132f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

BARTORELLI, A. Origem das grandes cachoeiras do planalto basáltico da bacia do Paraná: evolução quaternária e geomorfologia. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 95-111.

BASSI, Lauro. **Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do lajeado São José, Chapecó, SC**. 1990. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.

\_\_\_\_\_. *Valuation of land use management impacts on water resources in the Lajeado São José micro-watershed Chapecó, Santa Catarina State, Brazil. **Land and Water Bulletin*** - FAO. Roma, p. 1 – 18. abr. 2002.

BASTOS, Anna Christina Saramago; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. Licenciamento ambiental brasileiro no contexto da avaliação de impactos ambientais. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (Orgs). **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 77 – 113.

BAVARESCO, Paulo Ricardo. **Ciclos econômicos regionais**: modernização e empobrecimento no extremo Oeste catarinense. Chapecó: Argos, 2005.

\_\_\_\_\_. **Colonização do extremo oeste catarinense**: contribuições para a história campestre da América Latina. UNISINOS, 2006. Disponível em: <<http://www.alasru.org/cd alasru2006>>. Acesso em: 16 ago. 2010.

BELLANI, Eli Maria. **Madeiras, balsas e balseiros no rio Uruguai**: o processo de colonização do velho município de Chapecó (1917-1950). 1991. 307f. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1991.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. Erosão. In: \_\_\_\_\_. **Conservação do solo**. 7ed. São Paulo – SP, Editora: Ícone, 2010. p. 68 – 93.

BIGARELLA J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE EROÇÃO, 3, 1985, Maringá/PR. Livro Guia. Curitiba/PR, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985.

BINDA, Andrey Luís; BUFFON, Elaiç Aparecida Mensch; FRITZEN, Maycon. Análise espaço-temporal dos casos de inundações e de alagamentos registrados na cidade de Chapecó – SC (1980-2010). **Ra' E Ga**: o espaço geográfico em análise. p. 35 – 50. 2012. Disponível em: <<http://www.geografia.ufpr.br/raega>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

BINDA, Andrey Luís; FRITZEN, Maycon. Uso do solo urbano e alterações na rede de drenagem da bacia hidrográfica do Lajeado Passo dos Índios, Chapecó-SC. **Geografia Ensino & Pesquisa**, vol. 17, n. 2, p. 243 – 259, maio./ago. 2013.

BINDA, Andrey Luís. Os rios urbanos de Chapecó: do esquecimento sob as lajes de concreto às recordações nos dias de chuva. In: Marlon Brandt; Ederson Nascimento. (Org.). **Oeste de Santa Catarina**: território, ambiente e paisagem. São Carlos: Pedro & João Editores, 2015. p. 155 – 193.

BITOUN, Jan. O embate entre as questões ambientais e sociais no urbano. In: CARLOS, Ana Fani; LEMOS, Amália Inês Geraiges (Orgs.). **Dilemas urbanos**: novas abordagens sobre a cidade. São Paulo: Contexto, 2003. p. 299-307.

BLAINSKI, Éverton. **Utilização do intervalo hídrico ótimo do solo para manejo de área irrigada**. 2007. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.



\_\_\_\_\_. **Indicadores de qualidade física em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 2010. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

BLAINSKI, Éverton; GARBOSSA, Luis Hamilton Pospissil; MALUTTA, Simone. **Aplicação do modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para a simulação da perda de solo e da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica não instrumentada**. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza, 2010. Disponível em: <<http://www.acquacon.com.br/xsrhn>>. Acesso em: 13 set. 2014.

BLAINSKI, É. et al.. Uso de modelo hidrossedimentológico para a simulação de cenários de uso da terra na microbacia Ribeirão Gustavo, Santa Catarina. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 11, n. 1, 2014, p. 21-32.

BLAINSKI, É. et al. **Relatório técnico final** - sistema de monitoramento hidrológico e modelagem ambiental da bacia hidrográfica do rio Camboriú - SC. Florianópolis. 2016.

BLAINSKI, Éverton et al. *Simulation of land use scenarios in the Camboriú River Basin using the SWAT model*. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 22, e33, 2017, p. 1 – 12. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_issuetoc&pid=2318-033120170001&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=2318-033120170001&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 15 mar. 2017.

BOCALON, Vitor Luiz Scartazzini; OTSUSCHI, Cristina. Os banhados e a evolução de paisagem no município de Chapecó – Oeste de Santa Catarina – Brasil. **Geografia, Ensino & Pesquisa**. Santa Maria. v. 19, n. 1, p. 93 – 104, jan./abr., 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/14514>>. Acesso em: 10 out. 2016.

BOLUND, Per; HUNHAMMAR, Sven. *Ecosystem services in urban areas*. **Elsevier, Ecological Economics**, nº 29, 1999, p. 293–301. Disponível em: <<http://www.urban.uiuc.edu/>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, Antonio José Teixeira (Org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71 – 115.

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado; SILVA, Antonio Soares da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, Antonio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 153 – 192.

BOTTIN, Jovane. **Avaliação limnológica da microbacia do lajeado Passo dos Índios - Chapecó, SC**. 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Comunitária Regional de Chapecó. Chapecó, 2007.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de

dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Diário Oficial da União, p. 1, 28 maio. 2012. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2011-2014/2012/1e1l112651.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

BRAUN, Walter A. G. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, 23(4), out./dez., 1961.

BRESSIANI, Danielle de Almeida et al. Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **Internacional Journal of Agricultural and Biological Engineering**. v. 8, n. 3, p. 9 - 35. jun. 2015.

BRIGHENTI, T. M.; BONUMÁ, N. B.; CHAFFE, P. L. B. Calibração hierárquica do modelo Swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 53-64, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2318-03312016000100053&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2318-03312016000100053&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 4 jun. 2016.

CALDASSO, Alfeu Levy da Silva; VIERO, Antonio P.; FREITAS, Marcos Alexandre de. Geologia. In: FREITAS, Marcos Alexandre de; CAYE, Bráulio Robério; MACHADO, José Luiz Flores (Orgs.). **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do estado de Santa Catarina**: projeto oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/ DAS-SC/EPAGRI, 2003.

CALEGARI, Leandro et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí/MG, para fins de restauração florestal. **Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p. 871-880, 2010.

CAMARGO, Luís Henrique Ramos de. **A ruptura do meio ambiente**: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: a geografia da complexidade. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

CARDOSO, Fabrício Bueno da Fonseca et al. Mapa dos domínios hidrogeológicos de Santa Catarina: uma ferramenta para gestão das águas subterrâneas do estado. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, 2007. Gramado. **Anais...** Gramado: ABAS, 2007. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22166>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

CAVALHEIRO, Felisberto. Urbanização e alterações ambientais. In: TAUKE, Sâmia Maria (Org.). **Análise ambiental**: uma visão multidisciplinar. 2. ed. rev. e ampl. 3reimp. São Paulo: UNESP, 1995. p. 114 – 124.

CECH, Thomas V. Hidrologia das águas superficiais. In: \_\_\_\_\_. Recursos hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão. 3ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. p. 59 – 83.

CEOM. **Banco de dados e acervo digital**. Chapecó: CEOM/Unochapecó.2006. Disponível em: <<http://ceom.unochapeco.edu.br/ceom/index/>>. Acesso em: 4 maio 2017

CHAPECÓ. **Chapecó em dados**. 2014a. Disponível em: <<https://www.chapeco.sc.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. **Lei Complementar nº 541** de 26 de novembro de 2014. Institui o Plano diretor de Chapecó. 2014b. Disponível em: <<http://www.chapeco.sc.gov.br/imprensa/downloads>>. Acesso em: 30 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente. **Plano de desenvolvimento rural**. Chapecó. 2015. Disponível em: <<https://web.chapeco.sc.gov.br/documentos>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Condicionantes geomorfológicos e hidrológicos aos programas de desenvolvimento. In: Sâmia Maria Tauk (org.). **Análise Ambiental**. Rio Claro: UNESP, 1995. p. 104 – 106.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 020 de 18 de julho de 1986. Estabelece uma classificação das águas doces, salobras e salinas tendo como base parâmetros e indicadores para garantir a qualidade das águas. **Coletânea de Legislação Ambiental**, Curitiba, 1991.

CORDILHEIRA ALTA. Decreto Municipal nº. 049 de 12 de julho de 2010. **Plano diretor de Cordilheira Alta, SC**. Cordilheira Alta, 12 jul. 2010. Disponível em: <<http://www.pmcordi.sc.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. Município de Cordilheira Alta. 2014. Disponível em: <<http://www.pmcordi.sc.gov.br/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

COSTA, Eduino Rodrigues da. **O campo térmico e a qualidade ambiental urbana em Chapecó/SC**. 2015. 290f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

CPRM. **Mapa geológico digital de Santa Catarina**. 1986. 1 mapa, color, 1:500.000.

Mapa geológico do estado de Santa Catarina. 2014. 1 mapa, color., 155 x 105cm. 1:500.000. Disponível em: <[http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17996/1/mapa\\_santa\\_catarina.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17996/1/mapa_santa_catarina.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2016.

DAEE/IPT. **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1989.

DEINFRA. Mapa rodoviário do Estado de Santa Catarina. 2017. 1 mapa, color. Escala 1:500.000. Disponível em: <[http://www.deinfra.sc.gov.br/download/mapas\\_rodoviaros/alta.jpg](http://www.deinfra.sc.gov.br/download/mapas_rodoviaros/alta.jpg)>. Acesso em: 5 jun. 2017.

DEMANTOVA, Graziella Cristina. **Redes técnicas ambientais: diversidade e conexão entre pessoas e lugares**. 2009. 363f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

\_\_\_\_\_. **Redes técnicas e serviços ambientais: integrando qualidade ambiental e de vida nas cidades**. São Paulo: Annablume, 2011.

DERPSCH, R. et al.. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Tradução de Irene Popper. Eschborn: IAPAR/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1991

DREW, David. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

ELMORE, W.; BESCHTA, R.L. Riparian áreas: perceptions in management. **Rangelands**. v. 96, p. 290 – 265, 1987.

EMBRAPA. Solos do estado de Santa Catarina. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n. 46, dez. 2004.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

FACCO, Janete. **Os conflitos ambientais no processo de urbanização na bacia hidrográfica de abastecimento de água de Chapecó/SC**. 2011, 231f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Chapecó, 2011.

FÁVERO, O. A. **Paisagem e sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP**. 2007.312f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FENDRICH, Roberto (org.). et al. **Drenagem e controle de erosão urbana**. 3. ed. São Paulo: IBRASA, 1991.

FERRARI, Maristela. **Interações transfronteiriças na zona de fronteira Brasil-Argentina: o extremo oeste de Santa Catarina e Paraná e a Província de Misiones (século XX e XIX)**. 2011. 445f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FERREIRA, Alexandre Aires de Freitas. **Métricas da paisagem na avaliação da cobertura vegetal em otobacias do estado de Goiás/Brasil Central**. 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2012.

FERRETI, Orlando Ednei. **Os espaços de natureza protegida na Ilha de Santa Catarina, Brasil**. 346f. 2013. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GALVAN, L. et al. *Aplicación del modelo hidrológico SWAT a la cuenca del río Meca* (Huelva, España). **Geogaceta**, 42, p. 63-66.

GOERL, Roberto F. et al. Elaboração e aplicação de índices de fragmentação e conectividade da paisagem para análise de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. nº 5, p. 1000-1012, 2011.

GOLO, Cristiomar. **Reconfigurações espaciais no oeste catarinense: considerações acerca do rural e do urbano (1917-2013)**. 2013. 135f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

GOUDIE, Andrew. **The human impact on the natural environment**. Oxford: Basil Blackwell Ltd., 1990.

GRAEFF, Orlando Ricardo. Licenciamento ambiental urbano. In: GUERRA, Antonio José Teixeira (Org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 189 – 226.

GROSSI, Caetano Henrique. **Sistema de informação geográfica - basins 3.0 na modelagem hidrológica da bacia experimental do rio Pardo**, SP. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GUEDES, Fátima Becker, SEEHUSEN, Susan Edda (Org.) Pagamento por services ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios. Brasília: MMA, 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/.../psa\\_na\\_mata\\_atlantica\\_licoos\\_aprendidas\\_e\\_desafios\\_202.pdf](http://www.mma.gov.br/.../psa_na_mata_atlantica_licoos_aprendidas_e_desafios_202.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2017.

GUERRA, Antônio Teixeira; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GUERRA, Antonio Teixeira; MENDONÇA, Jane Karina Silva. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, Antonio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira (Orgs.). Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225 – 256.

HOGAN, Daniel Joseph; MARANDOLA JR., Eduardo; OJIMA, Ricardo. **População e ambiente: desafios à sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010.

IBGE. **Cadastro central de empresas**: Cordilheira Alta, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Chapecó**. 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. Cordilheira Alta. 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

ICEPA/SC. **Avaliação do projeto microbacias**: monitoramento da qualidade de água. Relatório de Avaliação Final. Florianópolis, 1999.

INPE. **Manuais**: tutorial de geoprocessamento. SPRING. 2008.

KLEIN, Roberto Miguel. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978.

KRONEN, Mechthild. **A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1990.

LELIS, Thatiana Aparecida. **Modelagem do escoamento superficial e perda do solo na bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Zona da Mata de Minas Gerais, utilizando o simulador SWAT**. 2011. 164f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

LIBAULT, André. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. **Métodos em questão**. São Paulo, 1971, n.1, p. 1-14.

LIEW, M. W. et al. *Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: a comparison on USDA-ARS watersheds*. **Journal of Hydrology Resources**, v. 12, n. 2, p. 173-189, 2007.

LINO, João Félix de Luca et al. **Análise da vazão da bacia hidrográfica do Rio Preto com o modelo SWAT**. Anais do XVIII Simpósio de Recursos Hídricos. Campo Grande, 2009. Disponível em: <[http://www.lhg.ufpr.br/.../Lino\\_\(2009\)\\_Analise\\_da\\_vazao\\_da\\_bacia.pdf](http://www.lhg.ufpr.br/.../Lino_(2009)_Analise_da_vazao_da_bacia.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2014.

LOPES, Nadia Hidemi Yano. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. 2008. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MACHADO, José Luiz Flores. **Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre : CPRM, 2013. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel\\_mapa\\_hid\\_sc.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_mapa_hid_sc.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2016

MACHADO, Ronalton Evandro. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 152f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MAGALHÃES, Danilo Marques de. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas de**

**paisagem**. 2013. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MALUTTA, Simone. **Estudo hidrossedimentológico da bacia hidrográfica do Rio Negrinho – SC com o modelo SWAT**. 2012, 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MAPOTECA digital de Santa Catarina. Epagri/IBGE. 2004.

MARICATO, Ermínia. **Brasil, cidades**: alternativas para a crise urbana. Petrópolis: Vozes, 2001.

MARQUES, José Roberto. **Meio ambiente urbano**. 2. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2010.

MARTINE, George. População, meio ambiente e desenvolvimento: cenário global e nacional. In: George Martine (Org.). **População, meio ambiente e desenvolvimento**: verdades e contradições. 2. ed. Campinas: Unicamp, 1996.

MARTINS, José Rodolfo S.. Obras de macrodrenagem. In: TUCCI, Carlos E. M., PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. p.167 – 240.

MATTIELO, Alexandre et al. Chapecó/SC: o agronegócio, o setor terciário em expansão e a crescente desigualdade socioespacial. In: SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão; MAIA, Doralice Sátyro (Orgs.). **Agentes econômicos e reestruturação urbana e regional**: Dourados e Chapecó. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.

MELO NETO, José de Oliveira et al. Simulação hidrológica escalar com o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 177-188, 2014. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=161&SUMARIO=4358>> Acesso em: 23 abr.2016.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tatiana. de (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília/CNPQ, 2012.

MERCURI, Emílio Graciliano Ferreira et al. Metodologia da geração de dados de entrada e aplicação do modelo SWAT para bacias hidrográficas brasileiras. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal/RN. **Anais...** Natal/RN: INPE, 2009. Disponível em: <<http://www.bibdigital.sid.inpe.br/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.51>>. Acesso em: 22 jan. 2015.

METZGER, Jean Paul. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais...** Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro. 1999. v. 71, n. 3-I, p. 445-463. Disponível em:

<[http://www.eco.ib.usp.br/lepac/paisagem/Artigos\\_Jean/Metzger\\_Anais\\_1999.pdf](http://www.eco.ib.usp.br/lepac/paisagem/Artigos_Jean/Metzger_Anais_1999.pdf)>. Acesso em: 1º jul. 2014.

MINOTI, Ricardo Tezini. **Abordagens qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi-Superior/SP**. 2006. 231f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MONSALVE HERRERA, Diana Jimena. **Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento**. 2013. 120f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MONTEIRO, Maurici Amantino. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, Florianópolis, v.16, n.31, p 69-78, jan./jun. 2001.

MORERO, A.M.; SANTOS, R.F.; FIDALGO, E.C.C. Planejamento ambiental de áreas verdes: estudo de caso de Campinas-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.19, n.1, p. 19- 30, jun. 2007.

MORGAN, R. P. C.; DAVIDSON, D. A. Strategies for erosion control. In: \_\_\_\_\_. **Soil erosion and conservation**. New York: Longman Scientific & Technical, 1986.

MORISAWA, Marie. Impact of man on rivers. In: \_\_\_\_\_. **Rivers: form and process** (Geomorphogy Texts). New York: Longman Inc. 1985. p. 181 – 209.

MORO, Michele. **A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. 2005. 100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NARDY, A.J.R.; MACHADO, F.B.; OLIVEIRA, M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná:litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n 1, p. 178-195, mar. 2008.

NEITSCH, S. L. et al. **Ferramentas de avaliação de solo e água**: documentação teórica versão 2009. Texas, 2011. Disponível em: <<http://swat.tamu.edu>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

NUCCI, João Carlos. Análise sistêmica do ambiente urbano, adensamento e qualidade ambiental. **PUC SP Ciências Biológicas e do Ambiente**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 73-88, 1999. Disponível em: <[http://www.labs.ufpr.br/site/wp.../07/nucci\\_artigocompleto\\_pucsp\\_1999.pdf](http://www.labs.ufpr.br/site/wp.../07/nucci_artigocompleto_pucsp_1999.pdf)>. Acesso em: 2 jul. 2015.

OLIVEIRA, Guilherme de Castro; FERNANDES FILHO, Elpídio. Metodologia para delimitação de APPs em topos de morro segundo o novo Código Florestal Brasileiro utilizando sistema de informação geográfica. In: XVI Simpósio Brasileiro de



Sensoriamento Remoto - SBSR, 13 a 18 de abril de 2013, Foz do Iguaçu, PR.

**Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. Disponível em:  
<<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

OLIVEIRA, Maria Quitéria C. **Impacto de mudanças no uso da terra nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Joanes e sua repercussão na zona costeira**. 1999. 140f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.

OTSUSCHI, Cristina. **Poluição hídrica e processos erosivos**: impactos ambientais da urbanização nas cabeceiras de drenagem na área urbana de Maringá/P.R. 2000. 235f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

OTSUSCHI, Cristina; BOCALON, Vitor Luiz Scartazzini; ALBA, Rosa Salete. Percepção, paisagem e planejamento ambiental: revisão do Plano Diretor de Chapecó/SC. In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, 15 a 21 de setembro de 2016. Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2016. Disponível em:  
<<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-453-1146.html>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

PAIVA, Cibele Teixeira. **Proposta de metodologia para análise de passivos ambientais da atividade minerária**. Brasília. 2006. Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/RelatConsultoriaApresentaoMME\\_PassivosAmbientais.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/RelatConsultoriaApresentaoMME_PassivosAmbientais.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2013.

PELUSO JÚNIOR, Victor Antonio. O relevo do território catarinense. **Geosul**, Florianópolis, n. 2, p. 7 – 69, 2sem. 1986.

PELUZIO, Telma Machado de Oliveira; SANTOS, Alexandre Rosa dos; FIEDLER, Nilton César. **Mapeamento de áreas de preservação permanente no ArcGis 9.3**. Alegre: CAUFES, 2010. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br>>. Acesso em: 15 jul. 2013

PORTO, Rubem La Laina. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de (Orgs). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1995. p. 107 – 165.

PRADO, Thais Barbosa Guarda. **Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim**. 2005. 71f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.

PRANDINI, F.L.; IWASA, O. Y. Diagnóstico da origem e evolução de boçorocas. In: FENDRICH, Roberto et al. **Drenagem e controle de erosão urbana**. 3. ed. São Paulo: IBRASA. Curitiba: Champagnat, 1991.

PROCHNOW, Miriam (Org.). **O parque nacional das araucárias e a estação ecológica da Mata Preta**: unidades de conservação. Rio do Sul: APREMAVI, 2009.

RECH, Daniella. **Leis e planos urbanos na produção da cidade**: o caso de Chapecó, SC. 2008. 154f. Dissertação (Mestrado em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

REIS, G.S.. et al. Formação Serra Geral (Cretáceo da Bacia do Paraná): um análogo para os reservatórios ígneo-básicos da margem continental brasileira. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 41, n. 2, p. 155-168, maio/ago, 2014.

RIBEIRO, Wagner Costa. Distribuição política da água. In: \_\_\_\_\_. **Geografia política da água**. São Paulo: Annablume, 2008. p. 23 – 52.

RODRIGUES, Hugo et al. Avaliação do escoamento superficial e da perda de solo sob diferentes coberturas e declividades em Silva Jardim, RJ. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada, 16, 2015, Teresina. **Anais...Teresina**: SBGF, 2015. Disponível em: <<http://www.sbgfa.ggf.br/2015/>>. Acesso em: 30 jul.2017.

SANTHI, C. et al. *Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources*. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n. 5, p. 1169-1188, 2001.

SANTHI, C. et al. *A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas*. **Environmental Modelling & Software** 21. 2006. p. 1141-1157.

SANTA CATARINA. Lei nº 15.133, de 19 de janeiro de 2010. Institui a Política Estadual de Serviços Ambientais e regulamenta o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais no Estado de Santa Catarina. Florianópolis, SC. Disponível em: <<http://server03.pge.sc.gov.br/LegislacaoEstadual/2010/015133-011-0-2010-001.htm>>. Acesso em: 8 maio 2014.

\_\_\_\_\_. Lei nº 16342, de 21 de janeiro de 2014. Altera a Lei nº 14.675, de 2009, que institui o Código Estadual do meio Ambiente e estabelece outras providências. Florianópolis, SC. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=264890>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

SANTOS, José Yure Gomes dos et al. **Aplicação do modelo SWAT para a simulação chuva-vazão na bacia do rio Tapacurá, estado de Pernambuco**. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/.../Sumarios/c3b52eb46fa4981e85b1eb5e96ced...>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina dos Textos, 2004.

SARTORI, Maria da Graça Barros. A dinâmica do clima do RS: indução empírica e conhecimento científico. **Revista Terra Livre**. São Paulo, v. 1, n. 20, 2003.

SCHEIBE, Luiz Fernando. A geologia de Santa Catarina. **Geosul**. Florianópolis, n. 1. p. 7 – 38, 1º sem. 1986.

SCHNEIDER, R. L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre/RS: SBG, 1974, p. 41-61.

SCHWAB, Glenn O. et al. Soil erosion. In: **Elementary soil and water engineering**. Tokyo: Toppan Company, Ltd./Wiley Internacional Edition, 1957. p. 82-99.

SECRETARIA DO ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E INTEGRAÇÃO DO MERCOSUL DE SANTA CATARINA. Mapa político de Santa Catarina. Florianópolis. 1 mapa, color.

SDS. **Sistema de informações geográficas**. Florianópolis: Governo de Santa Catarina. Disponível em: < <http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

SILVA, Alexandre Marco da; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa de. Estado da arte da pesquisa em erosão. In: \_\_\_\_\_. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2004. p. 59 – 81.

SILVA, Claiton Marcio da; OLIVEIRA, Josiane Roza de; SCHUH, Marcos Batista. **Cordilheira Alta pelos caminhos da memória**. Chapecó: CEOM, 2003.

SILVA, Fernando José da. **A divisão política-administrativa do estado de Santa Catarina**: do passado ao presente. 2008. 255f. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Sócio-Ambiental) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SILVA, Jonathan Mota da. O serviço ambiental hidrológico das áreas de proteção permanente: um estudo de caso com modelagem numérica em pequena e mesoescala na bacia do Rio Piracicaba. 2013. 100f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SMOLKA, Martim O. Meio ambiente e estrutura intra-urbana. In: George Martine (Org.). **População, meio ambiente e desenvolvimento**: verdades e contradições. 2. ed. Campinas: Unicamp, 1996. p. 133 – 147.

SOUZA, Daniele Tubino Pante de. **Corredores verdes**: uma abordagem para o seu planejamento em municípios brasileiros de pequeno porte. 2012. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SOUZA, Vlademir de. **Análise multitemporal das perdas de solo por erosão laminar e do regime de vazão fluvial na bacia do rio Jacaré Guaçú (SP)**. 2016. 101f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SPÓSITO, Maria Encarnação Beltrão. O embate entre as questões ambientais e sociais no urbano. In: CARLOS, Ana Fani; LEMOS, Amália Inês Geraiges (Orgs.). **Dilemas urbanos**: novas abordagens sobre a cidade. São Paulo: Contexto, 2003. p. 295-298.

THOMÉ, Vera Magali Radtke, et al. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1999. Disponível em: <ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\_content&view=article&id>. Acesso em: 15 jul. 2016.

TRAFICANTE, Christian. **Ecologia da paisagem para avaliação da idoneidade de redes ecológicas, como subsídio ao planejamento territorial**. 2007. 142f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

TUCCI, Carlos E. M.; CLARKE, Robin T.. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135 – 152, jan./jun. 1997.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa/IIIE, 2003.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP**. Piracicaba, SP. 2001. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

VIEIRA, Antonio Fábio Guimarães. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM)**. 1998. 225f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

WAGNER, Altair. E... **Chapecó levantou voo**. Florianópolis: De Letra, 2005.

WICANDER, Reed; MONROE, James S. Intemperismo, erosão e solo. In: \_\_\_\_\_. **Fundamentos de geologia**. Tradução Harue Ohara Avritcher; revisão técnica Maurício Antônio Carneiro. São Paulo: Cengage Learning, 2009. Título original: Essentials of geology. p. 121 – 142.

WILLIAMS, J. R. Sediment routing for agricultural watersheds. **Water Resources Bulletin**, v. 11 n. 5, p. 965-974, 1975.

ZALÁN, P.V. et al. Bacia do Paraná. In: RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. **Origem e evolução das bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1990. p. 135 – 168.

ZAÚ, André Scarambone. Fragmentação da Mata Atlântica: aspectos teóricos. **Floresta e Ambiente**. v. 5, n. 1, p. 160 – 170, jan/dez 1998. Disponível em: <http://www.geocities.ws/floramrural/0160.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2015.

ZENI, Vera Lúcia Fortes. **Desenvolvimento de cenários visando a mitigação de impactos ambientais em rios urbanizados: o caso do rio Passo dos Índios - Chapecó-SC**. 2007. 147f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2007.